สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนของรางรถไฟ

ENERGY HARVESTING FROM RAILWAY TRACK VIBRATIONS

T129390

อนุธิดา ยะล้อม

อภิญญา วัฒนาเจริญทรัพย์

อัยมี อาแวปูเตะ

วพ
อ191ก
2555

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....129390
วัน,เดือน,ปี.....3 S.A. 2556

.b.12547350
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ENERGY HARVESTING FROM RAILWAY TRACK VIBRATIONS

ANUTHIDA YALOM

APINYA WATTANACHAROENSUP

I-MEE ARWAEPHOOTEH

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนของรางรถไฟ

ENERGY HARVESTING FROM RAILWAY TRACK VIBRATION

ผู้จัดทำ	นางสาวอนุธิดา	ยะล้อม	52011387
	นางสาวอภิญญา	วัฒนาเจริญทรัพย์	52011393
	นางสาวอัยมี	อาแวปูเตะ	52011445

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.ดอน อิศรากร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนของรางรถไฟ

โดย

นางสาวอนุธิดา ยะล้อม 52011387

นางสาวอภิญญา วัฒนาเจริญทรัพย์ 52011393

นางสาวอัยมี อาแวปูเตะ 52011445

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ดอน อิศรากร

อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง

ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนของทางรถไฟขณะรถไฟแล่นบนรางรถไฟด้วยอุปกรณ์เก็บพลังงานเพียโซอิเล็กทริค จุดมุ่งหมายของโครงงานนี้คือสามารถนำพลังงานจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นบนรางรถไฟไปใช้ในการกำเนิดพลังงานไฟฟ้า ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ได้จะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานที่สามารถนำไปใช้ต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือเซนเซอร์บริเวณรางรถไฟต่อไป เพื่อใช้ประโยชน์ในเส้นทางการคมนาคมทางรถไฟ โดยในการทดลองมีขั้นตอนในการดำเนินการ ซึ่งเริ่มจากการเก็บข้อมูลความถี่การสั่นสะเทือนของรางรถไฟ ทั้งขณะรถไฟแล่นบนรางรถไฟและขณะไม่มีรถไฟแล่นบนรางรถไฟ เมื่อได้ข้อมูลความถี่แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้ใช้เลือกชนิดเพียโซอิเล็กทริคว่าควรใช้เพียโซอิเล็กทริคชนิดใด ที่สามารถแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ดีที่สุด จากนั้นจึงนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากตัวเพียโซผ่านวงจรจัดการพลังงานและนำไปสะสมพลังงานด้วยตัวเก็บประจุ สุดท้ายจึงนำอุปกรณ์เก็บพลังงานไปติดตั้งที่รางรถไฟ เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือเซนเซอร์ เพื่อใช้ประโยชน์ในการคมนาคมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ENERGY HARVESTING FROM RAILWAY TRACK VIBRATION

By

Miss Anuthida Yalom 52011387

Miss Apinya Wattanacharoensup 52011393

Miss I-mee Arwaephooteh 52011445

Advisors

Dr.Don Isarakorn

Mr.Songmuang Nundrakwang

Academic Year 2555

ABSTRACT

This thesis presents energy harvesting from vibration of the railway track, while the train is running, by energy storage device called piezoelectric.The objective of this project is that we could generate the energy harvesting from vibration of the railway track to use as one of the source of energy.This energy could be connected with the electronic devices and sensors on railway tracks. The results would be beneficial to the transportation by rail.The first process of this implementation is to collect two sources of following frequency of railway and frequency of train when that passing on railway. Then choose the best piezoelectric can generate electric energy from vibration energy.Afterward, the power management circuit is investigated, energy storage in capacitor.Final, thus leading devices energy storage went to reinstall that railways to as a source energy give with the device electronic or sensor to take advantage in the transport.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น ทางผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ดร.ดอน อิศรากร และอาจารย์สองเมือง นันทขว้าง อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำที่ดีมาโดยตลอด ขอบพระคุณคณะอาจารย์ในสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม ทุกท่านที่ประสิทธิประสาทความรู้ให้กับคณะผู้จัดทำโครงงานนี้ เพื่อที่จะให้โครงงานนี้สามารถบรรลุล่วง และสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร.ดอน อิศรากร ที่ให้คำปรึกษาในส่วนของการเก็บข้อมูลความถี่ และการทำวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์มาโดยตลอด รวมไปถึงเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ สนับสนุนอุปกรณ์ที่ขาดเหลือ และคอยไถ่ถามความคืบหน้าของโครงงานอยู่เสมอ

สุดท้ายนี้ ผู้จัดทำโครงงานต้องขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ของพวกเรา ผู้ที่มีพระคุณสูงสุดที่เป็นผู้ให้โอกาสในการศึกษา ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงงานนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้

ผู้จัดทำ

นางสาวอนุธิดา ยะล้อม

นางสาวอภิญญา วัฒนาเจริญทรัพย์

นางสาวอัยมี อาแวปูเตะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงงาน	3
1.6 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ข้อมูลรถไฟภายในประเทศไทย	5
2.1.1 ขบวนรถไฟโดยสาร	5
2.1.2 ขบวนรถไฟสินค้า	7
2.2 การเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม	7
2.2.1 หลักการทำงานของการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม	8
2.2.2 ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริค	8
2.2.3 วงจรจัดการพลังงาน	10
2.2.3.1 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	10
2.2.3.2 วงจรทอนระดับพลังงาน	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและวิธีการดำเนินงาน	12
3.1 การตรวจวัดและวิเคราะห์ความถี่ของรางรถไฟ	12
3.1.1 การติดตั้งเครื่องมือวัดความถี่ที่รางรถไฟ	12
3.1.2 การวิเคราะห์ความถี่ของรางรถไฟ	14
3.2 ออกแบบเพียโซอิเล็กทริค	21
3.2.1 คำสั่งพื้นฐานของโปรแกรม	22
3.2.2 คำสั่งค่าความถี่ของแบบจำลอง	22
3.2.3 คำสั่งค่าการกระจัดของแบบจำลอง	23
3.2.4 คำสั่งค่าความเค้นของแบบจำลอง	24
3.2.5 เพียโซอิเล็กทริคที่ออกแบบด้วยโปรแกรมMechanical APDL (ANSYS) 14.0	25
3.3 การออกแบบตัวแคมป์สำหรับยึดเพียโซอิเล็กทริค	25
3.3.1 ตัวแคมป์ที่ใช้ยึดตัวเพียโซอิเล็กทริค	25
3.3.2 ตัวฐานสำหรับวางเพียโซอิเล็กทริคและแคมป์ยึด	26
3.4 หา Resonant Frequency ของเพียโซอิเล็กทริค	27
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	29
4.1 วัดแรงดันไฟฟ้าจากการสั่นสะเทือนของรางรถไฟ	29
4.1.1 วัดแรงดันไฟฟ้าผ่านวงจรอิมพีแดนซ์	29
4.1.2 วัดแรงดันไฟฟ้าผ่านวงจรบริดจ์ไดโอดและตัวเก็บประจุ	33
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	39
5.1 สรุปผลการทดลอง	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก	42
ภาคผนวก ข โปสเตอร์	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะขบวนรถชานเมือง	6
2.2	ลักษณะขบวนรถท้องถิ่น	6
2.3	ลักษณะรถไฟสินค้าประเภททั่วไปโดยใช้ตู้คอนเทนเนอร์	7
2.4	ตัวอย่างของเพียโซอิเล็กทริค	9
2.5	วงจร PMICs แบบหนึ่ง	10
2.6	อินพุตและเอาท์พุตหลังผ่านวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	11
2.7	บัคคอนเวอเตอร์อย่างง่าย	11
3.1	อุปกรณ์ USB ACCELEROMETER & VIBRATION ANALISIS SOFTWARE NEW	12
3.2	รางรถไฟบริเวณสถานีพระจอมเกล้าที่ใช้เป็นจุดวัดความถี่	13
3.3	ขบวนรถไฟโดยสาร	13
3.4	ขบวนรถไฟสินค้า	13
3.5	ติดตั้ง Accelerometer & USB DAQERBESSD INSTRUMENTS® บนรางรถไฟ	14
3.6	ตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรม EI-Calc	14
3.7	ติดตั้ง Accelerometer ที่เลน 1 วัดค่ารางโดยสารเปล่า	15
3.8	กราฟความเร่งของรางเปล่าที่เลน 1	15
3.9	กราฟ Frequency Domain ของรางเปล่าที่เลน 1	15
3.10	ติดตั้ง Accelerometer ที่เลน 1 วัดค่าเมื่อมีรถไฟโดยสารผ่าน	16
3.11	กราฟความเร่งของรถไฟโดยสารเลน 1	16
3.12	กราฟ Frequency Domain ของรถไฟโดยสารเลน 1	16
3.13	ติดตั้ง Accelerometer ที่เลน 1 เก็บค่าความถี่ของรถไฟโดยสารเลน 2	17
3.14	กราฟความเร่งของรถไฟโดยสารเลน 2	17
3.15	กราฟ Frequency Domain ของรถไฟโดยสารเลน 2	17
3.16	ติดตั้ง Accelerometer ที่เลน 1 เก็บค่าความถี่ของรถไฟสินค้าเลน 4	18
3.17	กราฟความเร่งของรถไฟรถไฟสินค้าเลน 4	18
3.18	กราฟ Frequency Domain ของรถไฟสินค้าเลน 4	18
3.19	ติดตั้ง Accelerometer ที่เลน 4 วัดค่ารางสินค้าเปล่า	19
3.20	กราฟความเร่งของรางเปล่าเลน 4	19
3.21	กราฟ Frequency Domain ของรางเปล่าเลน 4	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.22	ติดตั้ง Accelerometer ที่เลน 4 รถไฟสินค้าวิ่งผ่านเลน 4	20
3.23	กราฟความเร่งของรถไฟสินค้า	20
3.24	กราฟ Frequency Domain ของรถไฟสินค้า	20
3.25	เพียโซอิเล็กทริคที่เลือกใช้งาน	21
3.26	ตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรม Mechanical APDL (Ansys) 14.0	21
3.27	โมเดลของเพียโซอิเล็กทริคที่ออกแบบด้วยโปรแกรมMechanical APDL (ANSYS) 14.0	25
3.28	ตัวแคมป์ยึดเพียโซอิเล็กทริค จำนวน 1 ชิ้น	26
3.29	ฐานวางตัวยึดเพียโซอิเล็กทริค จำนวน 1 ชิ้น	26
3.30	ตัวแคมป์เมื่อยึดกับเพียโซอิเล็กทริค	26
3.31	วงจรในการต่ออิมพีแดนซ์	27
3.32	Oscilloscope รุ่น DSO-2090 USB	27
3.33	แรงดันไฟฟ้าจาก Oscilloscope	28
3.34	กราฟอิมพีแดนซ์	28
4.1	ติดตั้ง Accelerometer & USB DAQERBESSD INSTRUMENTS® และเพียโซอิเล็กทริค ที่รางรถไฟ	29
4.2	กราฟความเร่งจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 1	30
4.3	กราฟแรงดันจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 1	30
4.4	กราฟความเร่งจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 4	30
4.5	กราฟแรงดันจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 4	31
4.6	ติดตั้ง Accelerometer & USB DAQERBESSD INSTRUMENTS®และเพียโซอิเล็กทริค ที่รางรถไฟ(ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)	31
4.7	กราฟความเร่งจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 1 (ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)	31
4.8	กราฟแรงดันจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 1 (ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)	32
4.9	กราฟความเร่งจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 4 (ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10กรัม)	32
4.10	กราฟแรงดันจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 4 (ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)	32
4.11	วงจรบริดจ์ไดโอด	33
4.12	ติดตั้ง Accelerometer & USB DAQERBESSD INSTRUMENTS®เพียโซอิเล็กทริค ที่รางรถไฟ	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.13	กราฟความเร่งจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 1	34
4.14	กราฟ Frequency Domain จากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 1	34
4.15	กราฟแรงดันจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 1	34
4.16	กราฟความเร่งจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 4	35
4.17	กราฟ Frequency Domain จากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 4	35
4.18	กราฟแรงดันจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 4	35
4.19	ติดตั้ง Accelerometer & USB DAQERBESSD INSTRUMENTS®เพียโซอิเล็กทริค ที่รางรถไฟ(ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10กรัม)	36
4.20	กราฟความเร่งจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 1 (ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)	36
4.21	กราฟ Frequency Domain จากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 1 (ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)	36
4.22	กราฟแรงดันจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 1 (ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10กรัม)	37
4.23	กราฟความเร่งจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 4 (ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)	37
4.24	กราฟ Frequency Domain จากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 4(ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)	37
4.25	กราฟแรงดันจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 4 (ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา

รถไฟเป็นพาหนะหนึ่งที่คนไทยใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ซึ่งทางรถไฟสายแรกของรัฐบาลไทย คือ ทางรถไฟสายกรุงเทพฯ-นครราชสีมา เกิดขึ้นในปี พ.ศ.2434 ต่อมากรมรถไฟหลวงได้ดำเนินการก่อสร้างจนเปิดใช้การกรุงเทพฯ-อยุธยา ในพ.ศ.2440 และได้ขยายเส้นทางการเดินรถอีกเป็นจำนวนมาก กรมรถไฟจึงต้องมีการกำหนดการซ่อมบำรุงทางเพื่อตรวจสอบสภาพของรางรถไฟเพื่อความปลอดภัยในการคมนาคม ซึ่งการตรวจสอบสถาพรางรถไฟของประเทศไทยนั้น มี 2 วาระ ดังนี้ 1.การตรวจวาระปกติ จะตรวจสภาพรางรถไฟโดยใช้รถตรวจสภาพทาง EM80 และ ฮาร์ลาร์ด (Hallade) 2.การตรวจในวาระพิเศษ จะอาศัยเจ้าหน้าที่ในการออกเดินตรวจสอบตามรางรถไฟเพื่อดูสภาพผิดปกติ ซึ่งการตรวจสอบโดยรถตรวจสภาพทางที่ใช้ในปัจจุบันนั้นแต่ละขบวนจะทำการตรวจสอบปีละ 2 ครั้ง เฉลี่ย 3 เดือนต่อครั้งในกรณีที่พื้นที่ทำการมีระบบไฟฟ้าเข้าถึง ส่วนในกรณีที่พื้นที่อยู่ห่างไกลหรือยังไม่มีระบบไฟฟ้าเข้าถึงก็จะมีเจ้าหน้าที่คอยตรวจสภาพรางรถไฟตามระยะทางทุกวัน หากพบสิ่งผิดปกติของรางรถไฟก็สามารถแจ้งฝ่ายซ่อมบำรุงทางรถไฟ เพื่อทำการซ่อมแซมรางรถไฟต่อไป

แต่เนื่องจากเส้นทางเดินรถไฟจากสถานีต่อสถานีมีระยะค่อนข้างไกล การตรวจสอบสิ่งผิดปกติของรางรถไฟจะไม่สามารถตรวจสอบได้ครอบคลุมตลอดเวลา ดังนั้นหากเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติระหว่างการเดินรถไฟจะไม่สามารถแจ้งให้เจ้าหน้าที่ขบวนรถไฟทราบเพื่อป้องกันอุบัติเหตุได้ทันท่วงที ดังนั้นจึงมีความคิดที่จะเสนอเพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาให้ระบบการตรวจสภาพรางรถไฟมีความครอบคลุมปัญหาดังกล่าวมากขึ้น โดยอาศัยการกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากการสั่นสะเทือนของรางรถไฟเมื่อมีรถไฟแล่นผ่านบนรางรถไฟ ซึ่งต้องอาศัยเพียโซอิเล็กทริคในการเปลี่ยนพลังงานการสั่นสะเทือนเป็นพลังงานไฟฟ้า และอุปกรณ์ในการเก็บพลังงาน เพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับอุปกรณ์แจ้งเตือนความผิดปกติจากรางรถไฟที่เป็นส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือเซนเซอร์ในบริเวณรางรถไฟต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในการทำปริญญานิพนธ์ชิ้นนี้เป็นการศึกษา ออกแบบ และการนำพลังงานที่ได้จากการสั่นสะเทือนของรางรถไฟมาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้สำหรับการติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือเซนเซอร์บริเวณรางรถไฟโดยออกแบบตัวโครงสร้างที่เอื้อให้เกิดปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริคในการทดลองเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อรางรถไฟสูงที่สุด ในส่วนของการชุดทดลองเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนของรางรถไฟโดยจะเก็บข้อมูลความถี่จากรางรถไฟอาศัยโปรแกรม EI-Calc และโปรแกรม DSO-2090 USB ซึ่งในส่วนของการออกแบบอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริคได้ใช้โปรแกรม Mechanical APDL ANSYS 14.0 เพื่อเลือกคุณสมบัติของเพียโซอิเล็กทริคให้ตรงตามการใช้งาน และใช้วงจรเก็บพลังงานที่มีราคาถูกและคุ้มค่ากับประสิทธิภาพเพื่อลดค่าใช้จ่าย และก่อให้เกิดประโยชน์สูงที่สุด สำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนของรางรถไฟที่นำเสนอในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1.2.1 เพื่อศึกษา และออกแบบการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนของรางรถไฟ โดยการนำพลังงานการสั่นสะเทือนเมื่อรถไฟแล่นบนรางรถไฟมาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือเซนเซอร์ที่นำมาติดบริเวณรางรถไฟ

1.2.2 เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวพลังงาน (Energy Harvesting) ขั้นสูงจากการสั่นสะเทือนของรางรถไฟและนำพลังงานจากการสั่นสะเทือนไปใช้ในการกำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่ไม่มีที่สิ้นสุด (Endless Power Supply) และสามารถลดเวลาในการตรวจสภาพความผิดปกติของรางรถไฟได้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากการศึกษาการเก็บเกี่ยวพลังงานจากรถไฟในต่างประเทศพบว่ามีการนำเพียโซอิเล็กทริควางไว้หลายส่วนของรางรถไฟ เช่น ใต้รางรถไฟ ตรงส่วนหมอนรถไฟ บนรางรถไฟ ฯลฯ ซึ่งในแต่ละที่ที่นำเพียโซอิเล็กทริคได้แรงดันไฟฟ้าที่ต่างกัน ซึ่งทั้งนี้ขึ้นกับชนิดเพียโซอิเล็กทริคที่ใช้ ผู้วิจัยได้เลือกวิจัยแบบนำเพียโซอิเล็กทริควางบนรางรถไฟ เพราะ เป็นการวิจัยที่ยังไม่ต้องใช้ทุนและบุคลากรจำนวนมาก และเลือกชนิดเพียโซอิเล็กทริคที่มีราคาค่อนข้างต่ำเพื่อดูแนวโน้มในการลงทุนต่อในอนาคตว่าได้พลังงานที่มากพอสำหรับการใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือเซนเซอร์ชนิดใดบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ในการทดลองการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนของรางรถไฟนั้นจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ การเก็บข้อมูลความถี่การสั่นสะเทือนจากรางรถไฟ โครงประกอบเพียโซอิเล็กทริค และวงจรเก็บพลังงาน LTC3588-1 ในปริญญานิพนธ์นี้เป็นการเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ค่าความถี่ของรางรถไฟขณะรถไฟแล่นผ่าน และเก็บพลังงานที่เกิดจากการสั่นสะเทือนบนรางรถไฟมาใช้ให้เกิดประโยชน์

1.5 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงงาน

ปริญญานิพนธ์นี้ใช้การศึกษาเชิงปฏิบัติการ โดยเริ่มแรกได้ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากเอกสาร บทความ งานวิจัย และรายงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนของรางรถไฟ ต่อมาคือการเก็บข้อมูลค่าความถี่ของรางรถไฟและนำมาวิเคราะห์ค่าความถี่ เพื่อนำค่าความถี่ที่ได้ไปเลือกชนิดและขนาดของเพียโซอิเล็กทริคที่สามารถให้ค่าพลังงานไฟฟ้าได้ดี และราคาถูกในการค้นคว้า เมื่อเลือกชนิดของเพียโซอิเล็กทริคได้แล้วจึงค่อยออกแบบตัวโครงประกอบสำหรับเพียโซอิเล็กทริคที่ได้เลือกนำมาใช้ให้เหมาะสมกับสภาพและพื้นที่ของรางรถไฟ เมื่อออกแบบอุปกรณ์เสร็จแล้วจึงนำอุปกรณ์ดังกล่าวติดตั้งไว้ที่รางรถไฟเพื่อศึกษาค่าพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นและนำพลังงานที่ได้เก็บในวงจรเก็บพลังงาน LTC3588-1 และนำพลังงานที่ได้ไปใช้ประโยชน์ต่อไป

1.6 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปริญญานิพนธ์นี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ กล่าวนำถึงความเป็นมา หลักการ วัตถุประสงค์ สมมติฐาน ขอบเขต ขั้นตอนการศึกษา และการจัดทำโครงงาน พร้อมทั้งรายละเอียดของปริญญานิพนธ์ของแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับรถไฟภายในประเทศไทย การเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริค และวงจรจัดการพลังงาน

บทที่ 3 หลักการการออกแบบ และวิธีการดำเนินงาน กล่าวถึงการตรวจวัดและวิเคราะห์ความถี่การสั่นสะเทือนของรางรถไฟ การออกแบบตัวโครงสร้างสำหรับยึดเพียโซอิเล็กทริค การหาค่า Resonant Frequency ของเพียโซอิเล็กทริค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง กล่าวถึงการวัดแรงดันไฟฟ้าเมื่อผ่านวงจรอิมพีแดนซ์ และวงจรเรียงกระแสจากการสั่นสะเทือนของรางรถไฟ

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ และแนวทางการปรับปรุงเพื่อสำหรับพัฒนาโครงงานนี้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลรถไฟภายในประเทศไทย

รถไฟเป็นอีกหนึ่งเส้นทางของการคมนาคมภายในประเทศไทยของประชาชนไปยังจังหวัดต่างๆ ที่มีเส้นทางรถไฟผ่านได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีราคาค่าโดยสารที่ไม่แพงจนเกินไป อีกทั้งยังมีความสะดวก และความปลอดภัยในการเดินทางค่อนข้างสูง ประชาชนจึงสามารถเลือกใช้บริการได้ ไม่ว่าจะเป็นเส้นทางใกล้หรือไกล ซึ่งในปัจจุบันการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) ได้มีการจัดการให้บริการทั้งขบวนรถไฟโดยสาร และขบวนรถไฟสินค้าให้แก่ประชาชน ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

2.1.1 ขบวนรถไฟโดยสาร

การรถไฟแห่งประเทศไทยได้มีการจัดเดินขบวนรถโดยสารเพื่อให้บริการแก่ประชาชนตามประเภทของขบวนรถ ซึ่งจะมีรูปแบบของการจัดขบวนรถ สถานีที่หยุดรับส่ง ประเภทของรถโดยสารที่จะใช้พ่วง ค่าธรรมเนียมในการใช้บริการแตกต่างกันไปตามลำดับความสำคัญ และชนิดการให้บริการทั้งหมด 9 ประเภท ดังต่อไปนี้

1. ขบวนรถด่วนพิเศษ (Special Express) เป็นขบวนรถที่จัดเดินระยะทางไกล หยุดจอดเฉพาะสถานีที่สำคัญๆเท่านั้น รถพ่วงส่วนใหญ่ มีทั้งรถนอนธรรมดา และปรับอากาศ เส้นทางที่จัดให้บริการในปัจจุบันได้จัดเดินขบวนรถด่วนพิเศษในภาคเหนือ และภาคใต้

2. ขบวนรถด่วน (Express) เป็นขบวนรถที่จัดเดินระยะทางไกล หยุดจอดเฉพาะสถานีสำคัญๆ เท่านั้น รถพ่วงจะเป็นรถนอนธรรมดา และปรับอากาศ โดยจะมีรถโดยสารชนิดนั่งทั้งธรรมดา และปรับอากาศพ่วงรวมอยู่ด้วยในบางขบวน เส้นทางที่จัดให้บริการในปัจจุบันได้จัดขบวนรถด่วนในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้

3. ขบวนรถเร็ว (Rapid) เป็นขบวนรถที่จัดเดินระยะทางไกลหยุดเกือบทุกสถานี รถพ่วงส่วนใหญ่จะเป็นรถนั่งชั้น 2 และ ชั้น 3 เส้นทางที่จัดให้บริการในปัจจุบันได้จัดเดินขบวนรถเร็วในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ขบวนรถวิ่งระหว่างเมืองใหญ่ (Inter City) เป็นขบวนที่จัดเดินเพื่อรับ-ส่งผู้โดยสารระหว่างเมืองใหญ่ๆ จะหยุดเฉพาะสถานีสำคัญๆเท่านั้น ขบวนรถที่ให้บริการจะเป็นรถดีเซลรางชั้น 2 เป็นรถปรับอากาศทั้งขบวน มีการจัดขบวนรถในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้

5. ขบวนรถท่องเที่ยว (Excursion) เป็นขบวนรถที่จัดขึ้นเพื่อให้บริการนักท่องเที่ยวในช่วงวันหยุดเสาร์ – อาทิตย์ และวันหยุดราชการ หยุดจอดเฉพาะสถานีที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวเท่านั้น ขบวนรถที่ให้บริการจะเป็นรถดีเซลรางธรรมดาและปรับอากาศ และรถโดยสารปรับอากาศที่จัดเฉพาะ

6. ขบวนรถธรรมดา (Ordinary) เป็นขบวนรถที่จัดเดินเพื่อให้บริการแก่ผู้โดยสารจากกรุงเทพไปยังจังหวัดสำคัญๆในแต่ละภูมิภาค และหยุดเกือบทุกสถานีและป้ายหยุดรถ

7. ขบวนรถชานเมือง (Bangkok Commuter) เป็นขบวนรถที่จัดเดินเพื่อให้บริการแก่ผู้โดยสารในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล รัศมีไม่เกิน 150 กม. เพื่อใช้เดินทางไปทำงาน ศึกษาเล่าเรียน และติดต่อค้าขาย หยุดทุกสถานีและป้ายหยุดรถ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

8. ขบวนรถท้องถิ่น (Rural Commuter) เป็นขบวนรถที่จัดเดินเพื่อให้บริการแก่ผู้โดยสารระหว่างจังหวัด หยุดทุกสถานีและป้ายหยุดรถ รถพ่วงจะเป็นรถโดยสารนั่งชั้น 3 ตลอดทั้งขบวน ดังแสดงในรูปที่ 2.2

9. ขบวนรถรวม (Mixed) เป็นขบวนรถที่จัดเดินเพื่อให้บริการแก่ผู้โดยสาร หยุดทุกสถานีและป้ายหยุดจอดรถ ประเภทรถพ่วงจะมีรถพ่วงโดยสารนั่งชั้น 3 และมีรถสินค้าพ่วงไปเพื่อรับส่งสินค้า ซึ่งในปัจจุบันมีขบวนรถรวมให้บริการในภาคตะวันออกและภาคใต้

รูปที่ 2.1 ลักษณะขบวนรถชานเมือง [10]

รูปที่ 2.2 ลักษณะขบวนรถท้องถิ่น [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ขบวนรถไฟสินค้า

ในส่วนของการคมนาคมขนส่งสินค้าก็จำเป็นที่จะต้องใช้รถไฟในการขนส่งสินค้าจำนวนมาก เพื่อให้สินค้าที่จัดส่งถึงจุดหมายปลายทางที่ต้องการโดยมาค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำกว่าการคมนาคมประเภทอื่นๆ ซึ่งมีขบวนรถไฟสินค้า 5 ประเภทดังต่อไปนี้

1. ขบวนรถสินค้าปูนซีเมนต์
2. ขบวนรถสินค้าผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิงสำเร็จรูป
3. ขบวนรถสินค้าน้ำมันดิบ
4. ขบวนรถสินค้าแก๊ส แอลพีจี
5. ขบวนรถสินค้าทั่วไป ขบวนรถสินค้าประเภทนี้จะให้บริการด้านการขนส่งสินค้าประเภทเหมาคันทั้งภายในประเทศ และเพื่อส่งออกประเทศมาเลเซียสถานีปลายทางสุไหงโกลก และสถานีปาดังเบซาร์ ซึ่งเป็นสถานีรถไฟชายแดน จะขนส่งโดยใช้ตู้คอนเทนเนอร์ในการขนส่งสินค้า ดังแสดงในรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 ลักษณะรถไฟสินค้าประเภททั่วไปโดยใช้ตู้คอนเทนเนอร์ [11]

2.2 การเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม

การเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม (Energy harvesting : EH) คือกระบวนการที่เก็บสะสมพลังงานจากสิ่งแวดล้อม เช่น พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนจากการต้มของเหลว พลังงานจากการสั่นสะเทือน พลังงานจลน์ เป็นต้น เพื่อนำพลังงานที่ได้ไปใช้ประโยชน์โดยการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ได้ดังกล่าวเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งพลังงานที่ได้นั้นจะเป็นพลังงานที่มีค่าไม่สูงมากจึงจำเป็นต้องมีการใช้วงจรจัดการพลังงานเพื่อเก็บสะสมพลังงาน และปรับระดับของพลังงานให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยการสะสมพลังงานนั้นอาจจะสะสมในตัวเก็บประจุหรือแบตเตอรี่ ซึ่งการเลือกใช้แหล่งสะสมพลังงานนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้พลังงานและงานที่ต้องการใช้ประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 หลักการทำงานของการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม

อุปกรณ์การเก็บเกี่ยวพลังงานจะแปลงพลังงานจากสิ่งแวดล้อมให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ การประยุกต์ใช้งานในอนาคตอาจใช้งานกับอุปกรณ์ที่มีเอาท์พุตพาวเวอร์ในระดับสูง การประยุกต์ใช้งานแบบหนึ่งที่พบกัน คือ ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา โดยที่อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานจะเป็นตัวป้อนพลังงานหรือทำการชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ, โน๊ตบุ๊คส์, คอมพิวเตอร์ , อุปกรณ์วิทยุสื่อสาร ฯลฯ โดยที่อุปกรณ์เหล่านี้ต้องมีความทนทานและสามารถทำงานได้ภายใต้สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมกับการใช้งาน ในการสะสมพลังงานนั้นเราสามารถทำการเก็บเกี่ยวพลังงานเพื่อนำมาป้อนให้อุปกรณ์เซนเซอร์ขนาดเล็กที่ทำงานได้ด้วยตัวเอง แต่ระบบนี้จะมีข้อจำกัดตรงที่ต้องใช้แบตเตอรี่ในการใช้งาน หากเราสามารถเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม เช่น การสั่น ลม ความร้อน หรือแสง เราจะสามารถทำให้การเซนเซอร์เหล่านี้ทำงานได้แบบไม่สิ้นสุด

การเก็บพลังงาน โดยทั่วไปแล้วพลังงานที่ได้จะเก็บอยู่ในตัวเก็บประจุ หรือแบตเตอรี่ เราจะใช้ตัวเก็บประจุในกรณีที่การใช้งานนั้นๆ ต้องใช้พลังงานที่มีปริมาณมาก ส่วนแบตเตอรี่จะมีการรั่วไหลของพลังงานน้อยกว่าและนิยมใช้ในงานที่อุปกรณ์ต้องการพลังงานที่ค่อนข้างคงที่

การใช้พลังงานการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันนั้นอยู่ที่การใช้งานกับเครือข่ายเซนเซอร์ที่ทำงานอย่างอิสระ ในการประยุกต์ใช้แบบนี้ จะเก็บพลังงานในตัวเก็บประจุจากนั้นจะทำการ boost/regulate ไปยังตัวเก็บประจุหรือแบตเตอรี่ชั้นที่ 2 เพื่อนำมาทำงานของเซนเซอร์ในการเก็บข้อมูลและการส่งข้อมูล

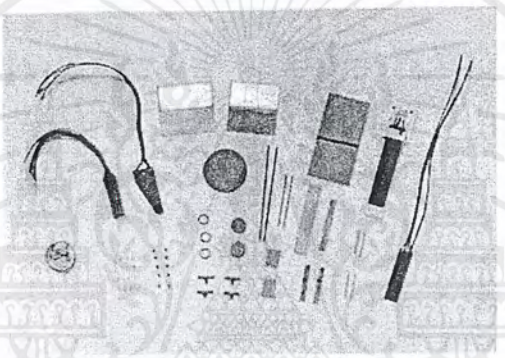
2.2.2 ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริค

ปรากฏการณเพียโซอิเล็กทริค (Piezoelectric Effect) ถูกค้นพบในปค.ศ. 1880 โดย Pierre Curies ไดศึกษาผลของความดันต่อการเกิดประจุไฟฟ้าของผลึกควอซ (Quartz) ดีเกลือ (Rochelle Salt) อัญมณี (Tourmaline) ว่าสามารถให้กำเนิดไฟฟาได้เมื่อมีแรงกดกระทำตอผลึก เขาให้ชื่อปรากฏการณที่เกิดขึ้นว่าปรากฏการณ “เพียโซอิเล็กทริค” ต่อมาในปี ค.ศ.1881 Gabriel Lippmann ได้ศึกษาค้นพบปรากฏการณ์ย้อนกลับได โดยพิจารณาจากหลักเทอร์โมไดนามิกส คือถ้าให้ไฟฟ้าเข้าไปในผลึก ผลึกก็จะสั่นได้ วัสดุเพียโซอิเล็กทริคที่ได้รับแรงเค้น (Mechanical Stress) จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการประจุไฟฟ้า (Electric Charge) หรือการจัดเรียงตัวทางแสง (Polarization) เรียกว่า “ผลทางตรง” (Direct Effect) เมื่อนำวงจรต่อเข้ากับวัสดุเพียโซอิเล็กทริคภายใต้แรงอัดจะมีกระแสไหลเข้าวงจรและหากเปลี่ยนเป็นแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดึงจะเกิดกระแสไหลในทิศตรงข้าม การประยุกต์จากผลทางตรง เช่น ไมโครโฟน และสัญญาณโซน่าร์ เป็นต้น

วัสดุเพียโซอิเล็กทริคภายใต้สนามไฟฟ้าจะเกิดแรงเครียดอัดภายในผลึก (Comparison Strain) ทำให้วัสุเกิดการบิดรูปไปจากเดิม และหากกลับทิศทางของสนามจะเกิดแรงเครียดดึง (Tensile Strain) ปรากฏการณ์ดังกล่าว เรียกว่า "ผลทางอ้อม" (Indirect Effect, Reverse Effect) งานประยุกต์ผลทางอ้อม เช่น เตาจุดแก๊ส, อุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducers), แอคชูเอเตอร์ (Actuators) เป็นต้น รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างของเพียโซอิเล็กทริค



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างของเพียโซอิเล็กทริค [8]

เพียโซเซรามิกเป็นสารที่เมื่อได้รับความต่างศักย์แล้วรูปร่างจะเปลี่ยนไป ซึ่งเมื่อได้รับแรงทางกลก็จะทำให้เกิดแรงทางไฟฟ้าขึ้น ดังนั้นสารเพียโซเซรามิกจึงสามารถเป็นได้ทั้งการตรวจจับ (Sensing) และการส่ง (Transmitting) อีกทั้งยังมีความสามารถทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าที่สูงมากๆได้ ซึ่งเป็นการเหมาะสมกับความต้องการใช้งานของอุปกรณ์ที่ต้องการแรงดันสูงๆ เช่น ใช้กับเครื่องกำเนิด (Generators) มอเตอร์ (Motor) อุปกรณ์จำพวกความถี่สูง (Resonant Devices) และอุปกรณ์ทางด้านแรงดันสูง (High Voltage) เพราะเป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้งานได้สะดวก และเชื่อถือได้

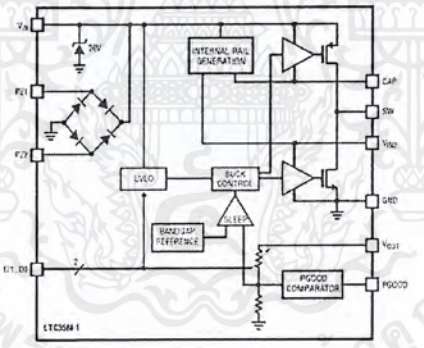
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 วงจรจัดการพลังงาน

วงจรจัดการพลังงาน (Power Management ICs : PMIC) คือ วงจรอินทิเกรต (หรือวงจรรวมในอุปกรณ์ชิพ) ที่มีไว้สำหรับจัดการพลังงานที่จำเป็นต่อตัวระบบหลัก บ่อยครั้งที่ตัว PMIC ถูกใช้ในอุปกรณ์สะสมพลังงานจำพวกแบตเตอรี่ในโทรศัพท์มือถือหรืออุปกรณ์พกพา

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันต่างก็มีความต้องการในการใช้แรงดันไฟฟ้าเฉพาะค่าของตน คือ มีการใช้แรงดันไฟฟ้าไม่เท่ากันและยังมีความต้องการจากแหล่งจ่ายที่ไม่เหมือนกันอีกด้วย โดยทั่วไปแล้วแรงดันไฟฟ้าในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้จะมีตั้งแต่ 5V, 3.3V, 1.8V เป็นต้น แหล่งจ่ายกระแสก็เป็นอีกอย่างหนึ่งซึ่งมีความสำคัญโดยอุปกรณ์ใหม่ๆนี้ใช้แหล่งจ่ายได้แม้กระทั่งกับ USB ฉะนั้นตัว PMIC จึงอาจมีฟังก์ชันที่หลากหลายเพื่อให้ครอบคลุมถึงความต้องการของอุปกรณ์ใหม่ๆด้วย รูปที่ 2.5 แสดงถึงตัวอย่างวงจรจัดการพลังงาน LTC3588-1 ที่ใช้งานในการทดลองนี้

วงจรจัดเก็บพลังงานหนึ่งตัวนั้นอาจจะมีทั้งระบบจัดการแบตเตอรี่ ตัวแปลงแรงดันไฟฟ้า และฟังก์ชันชาร์จพลังงาน หรือรวมทั้งอาจจะมีระบบแปลงไฟแบบไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับและเพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าให้ได้ตามที่ภาระต้องการ

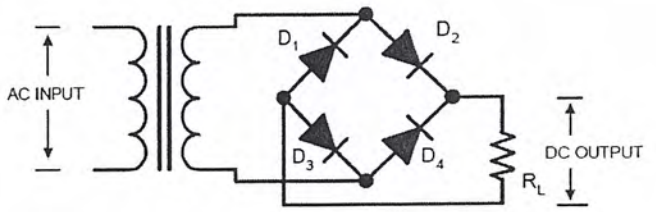


รูปที่ 2.5 วงจร PMICs แบบหนึ่ง [12]

2.2.3.1 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuits) เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงแรงดันไฟสลับให้เป็นแรงดันไฟตรงที่โดยสำหรับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์จะทำให้กระแสถูกกลับให้เป็นแรงดันไฟทางด้านบวกทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

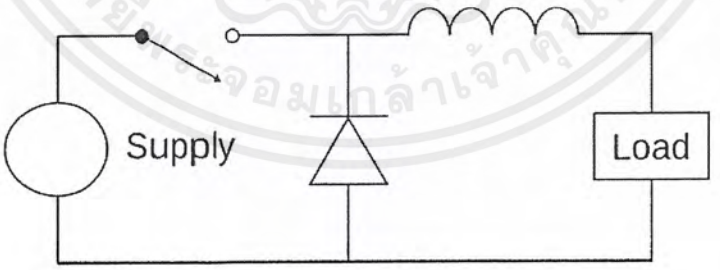


รูปที่ 2.6 อินพุตและเอาท์พุตหลังผ่านวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ [13]

2.2.3.2 วงจรทอนระดับแรงดัน

วงจรทอนระดับแรงดันหรือ บัคคอนเวอเตอร์ (Buck converter) เป็นวงจรที่ใช้เพื่อปรับระดับแรงดันโดยลดแรงดันขาออกให้มีระดับคงที่ ซึ่งจะตรงข้ามกับสเต็ปอัพบูสคอนเวอเตอร์ (Step-up boost converter) ซึ่งเป็นวงจรที่ใช้เพื่อเพิ่มระดับแรงดันขาออกให้มีค่าสูงขึ้น วงจรบัคคอนเวอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพดีสามารถลดระดับแรงดันลงโดยที่มีพลังงานสูญเสียที่ตัววงจรน้อยมากเนื่องจากใช้หลักการทำงานของสวิตช์ ทำให้ตัวบัคคอนเวอเตอร์มีประโยชน์มากกับการแปลงแรงดันไฟในระบบที่ต้องการพลังงานสูญเสียต่ำ

การทำงานของตัวบัคคอนเวอเตอร์อย่างง่าย (รูปที่ 2.7) ทำงานโดยใช้ตัวอินดัคเตอร์ (Inductor) หนึ่งตัวและสวิตช์สองตัว (ส่วนมากจะใช้ทรานซิสเตอร์หรือมอสเฟทและไดโอดอย่างละตัว) ในการควบคุมตัวอินดัคเตอร์ โดยที่จะเชื่อมต่อระหว่างตัวอินดัคเตอร์และแหล่งจ่ายไฟเพื่อเก็บพลังงานในตัวอินดัคเตอร์และจะจ่ายไฟจากตัวอินดัคเตอร์ไปสู่โหลด



รูปที่ 2.7 บัคคอนเวอเตอร์อย่างง่าย [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและวิธีการดำเนินงาน

3.1 การตรวจวัดและวิเคราะห์ความถี่ของรางรถไฟ

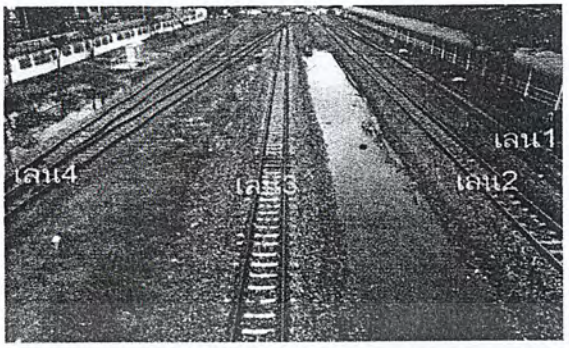
3.1.1 การติดตั้งเครื่องมือวัดความถี่ที่รางรถไฟ

ในการตรวจวัดความถี่ของรางรถไฟจะใช้อุปกรณ์ในการเก็บค่าความถี่คือ Accelerometer & USB DAQERBESSD INSTRUMENTS® ติดตั้งที่รางรถไฟเพื่อเก็บค่าความถี่จากการสั่นสะเทือน

รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ USB ACCELEROMETER & VIBRATION ANALISIS SOFTWARE NEW [9]

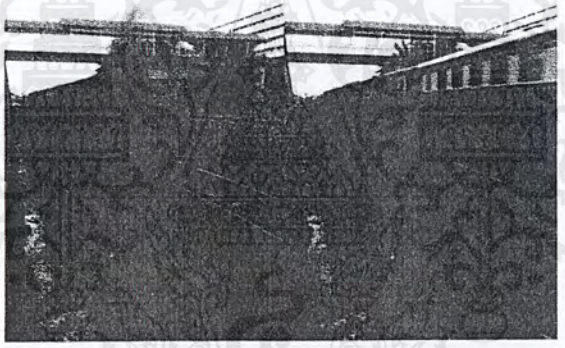
ในการติดตั้งอุปกรณ์ Accelerometer จะมีการติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งของรางรถไฟ โดยเราจะทำการวัดความถี่ของรางในช่วงของสถานีรถไฟหัวตะเข้ไปจนถึงสถานีลาดกระบัง ซึ่งมีเส้นทางเดินของรางรถไฟออกเป็น 4 เลน โดยจะมีเลนวิ่งของรถไฟโดยสารเข้ากรุงเทพ เพื่อง่ายต่อความเข้าใจ จึงให้เป็นเลน 1 เลน 2 เป็นเลนวิ่งของรถไฟโดยสารออกจากกรุงเทพ ส่วนเลน 3 และเลน 4 จะเป็นเลนวิ่งของรถไฟสินค้า ดังแสดงในรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

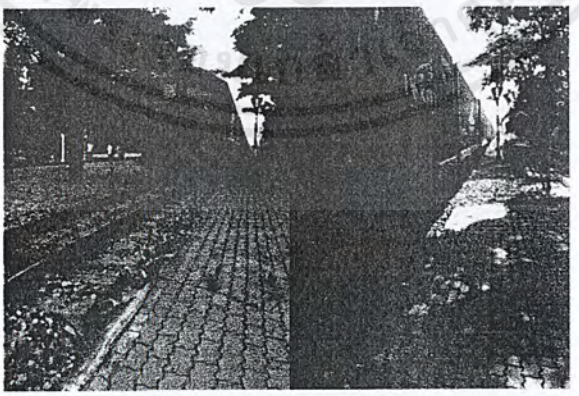


รูปที่ 3.2 รางรถไฟบริเวณสถานีพระจอมเกล้าที่ใช้เป็นจุดวัดความถี่

เมื่อวัดค่าความถี่ น้ำหนักของรถไฟจะส่งผลให้ค่าความถี่ที่แตกต่างกัน ในช่วงของสถานีรถไฟหัวตะเข้ไปจนถึงสถานีลาดกระบัง มีรถไฟใช้เส้นทางเดินรถผ่านเส้นทางนี้อยู่สองประเภทคือ รถไฟโดยสารและรถไฟสินค้า

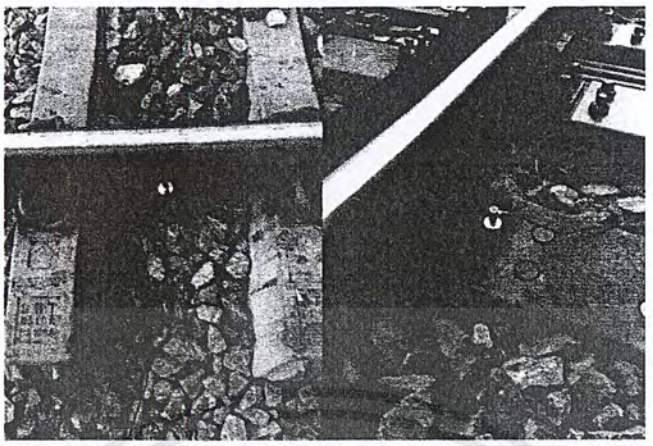


รูปที่ 3.3 ขบวนรถไฟโดยสาร



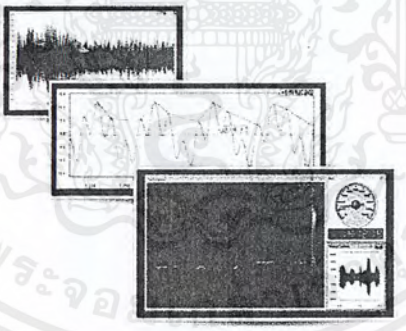
รูปที่ 3.4 ขบวนรถไฟสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ติดตั้ง Accelerometer & USB DAQERBESSD INSTRUMENTS® บนรางรถไฟ

เมื่อ Accelerometer & USB DAQERBESSD INSTRUMENTS® ได้รับการติดตั้งบนรางรถไฟที่มีการสั่นสะเทือน จะสามารถวิเคราะห์ค่าความถี่ได้โดยการใช้ Program EI-Calc เพื่ออ่านค่าความเร่งและ Fast Fourier Transform ซึ่งกราฟค่าความเร่งโดย X-axis คือเวลา(s) และ Y-axis คือความเร่ง (mm/s^2) และกราฟค่า FFT โดย X-axis คือความถี่(Hz)และ Y-axis คือความเร่ง (mm/s^2)



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรม EI-Calc [9]

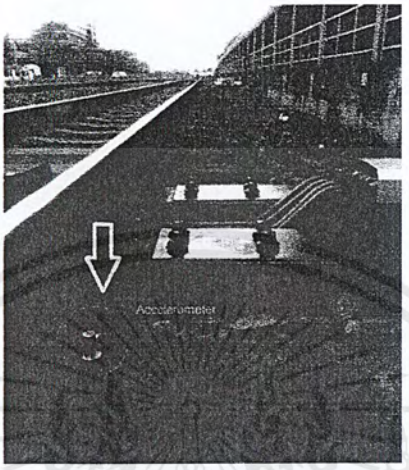
3.1.2 การวิเคราะห์ความถี่ของรางรถไฟ

ในการติดตั้ง Accelerometer เพื่อเก็บค่าความถี่ของรางรถไฟนั้นจะติดตั้งที่ตำแหน่งต่างๆ ของรางรถไฟ ใช้โปรแกรม EI-Calc ที่สามารถเก็บค่าความถี่ของรางรถไฟได้ในรูปแบบของกราฟความเร่งในรูปของ Time Domain แล้วเราสามารถนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ความถี่ในรูปของ Frequency Domain ได้

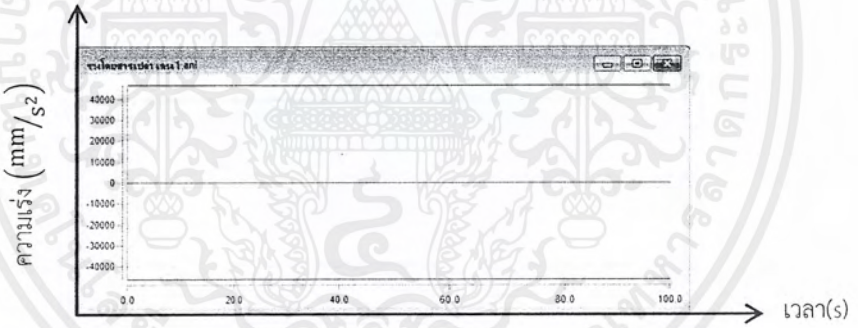
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้ง Accelerometer ที่เลน 1

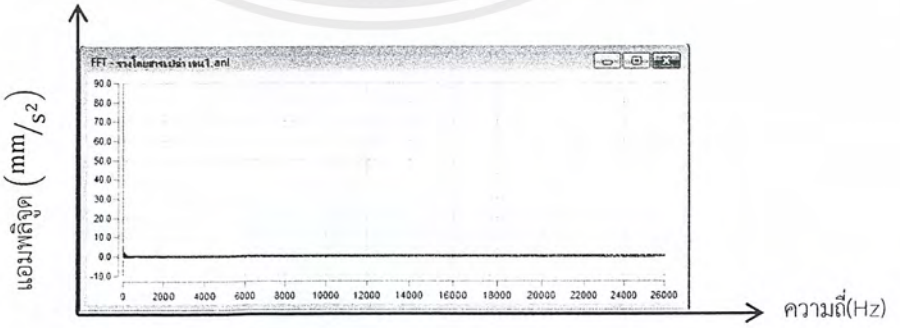
<u>เพื่อเก็บค่าความความถี่รางเปล่า</u>



รูปที่ 3.7 ติดตั้ง Accelerometer ที่เลน 1 วัดค่ารางโดยสารเปล่า



รูปที่ 3.8 กราฟความเร่งของรางเปล่าที่เลน 1

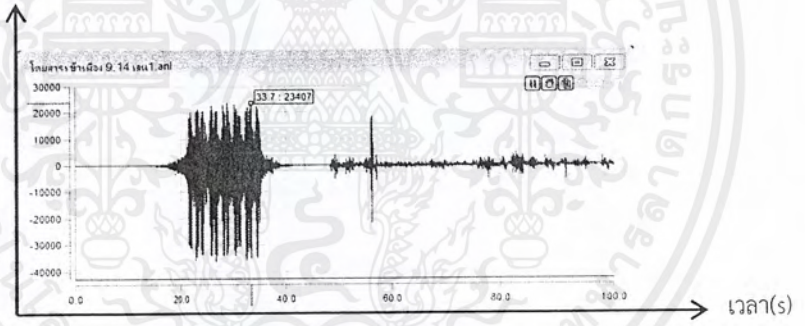


รูปที่ 3.9 กราฟ Frequency Domain ของรางเปล่าที่เลน 1

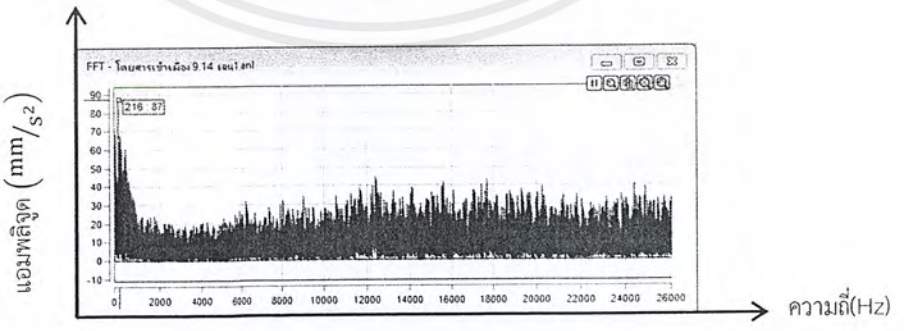
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อเก็บค่าความถี่ของรถไฟโดยสารจากเลน 1

รูปที่ 3.10 ติดตั้ง Accelerometer ที่เลน 1 วัดค่าเมื่อมีรถไฟโดยสารผ่าน



รูปที่ 3.11 กราฟความเร่งของรถไฟโดยสารเลน 1



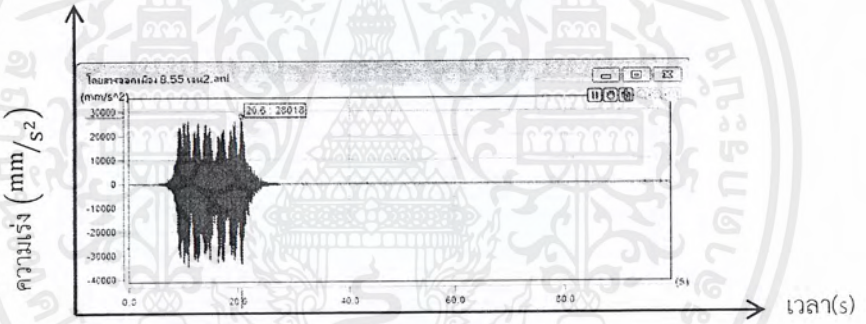
รูปที่ 3.12 กราฟ Frequency Domain ของรถไฟโดยสารเลน 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

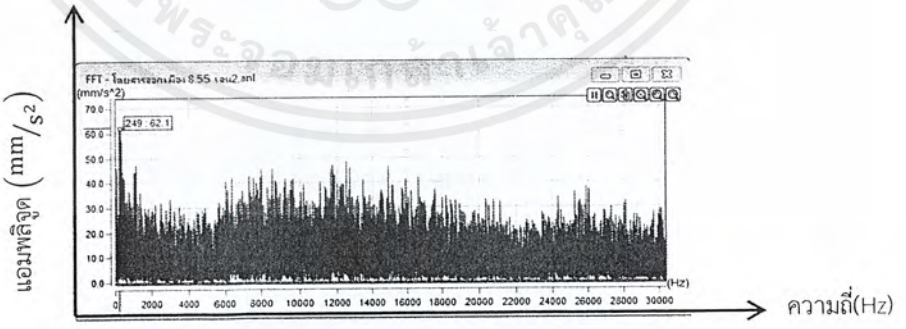
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เก็บค่าความถี่ของรถไฟโดยสารเลน 2 โดยห่างจากรางที่วัดเป็นระยะ 4.64 เมตร

รูปที่ 3.13 ติดตั้ง Accelerometer ที่เลน 1 เก็บค่าความถี่ของรถไฟโดยสารเลน 2



รูปที่ 3.14 กราฟความเร่งของรถไฟโดยสารเลน 2

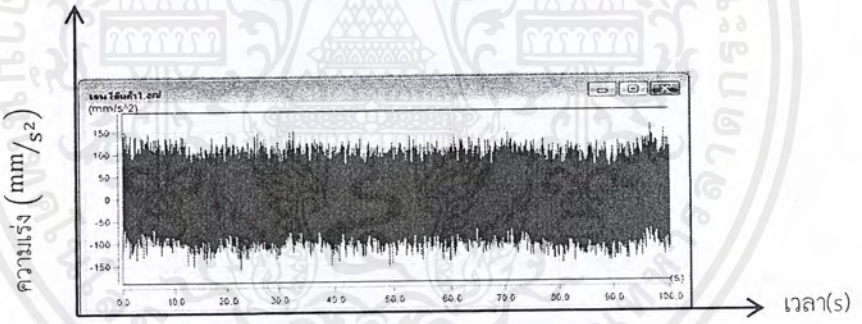


รูปที่ 3.15 กราฟ Frequency Domain ของรถไฟโดยสารเลน 2

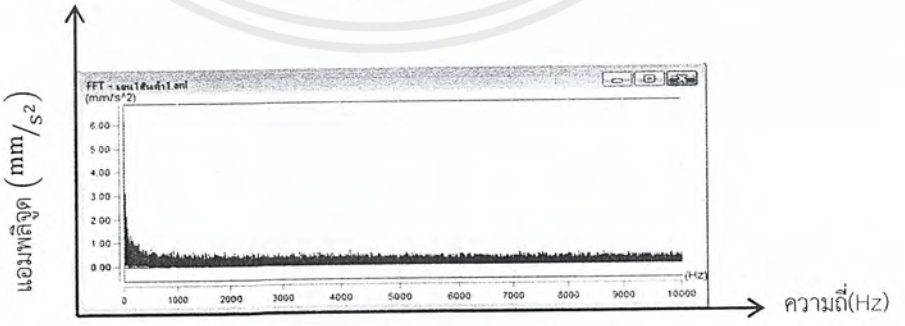
129390
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บค่าความถี่ของรถไฟสินค้าเลน 4 โดยห่างจากรางที่วัดเป็นระยะ22.93 เมตร

รูปที่ 3.16 ติดตั้ง Accelerometer ที่เลน 1 เก็บค่าความถี่ของรถไฟสินค้าเลน 4



รูปที่ 3.17 กราฟความเร่งของรถไฟรถไฟสินค้าเลน 4

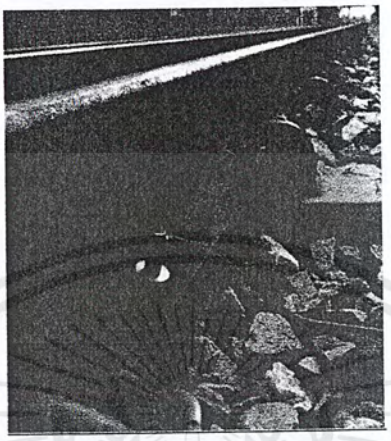


รูปที่ 3.18 กราฟ Frequency Domain ของรถไฟสินค้าเลน 4

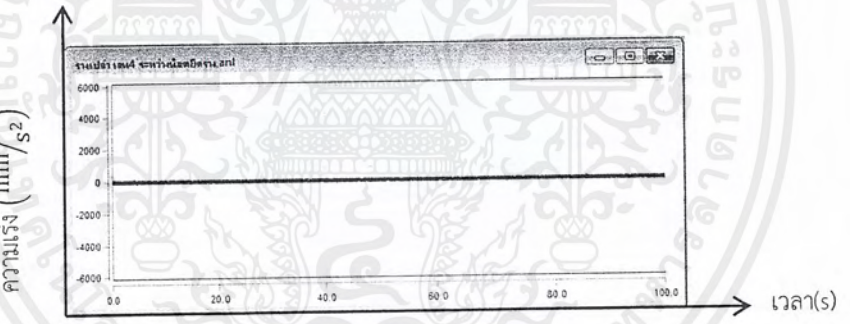
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้ง Accelerometer ที่เลน 4

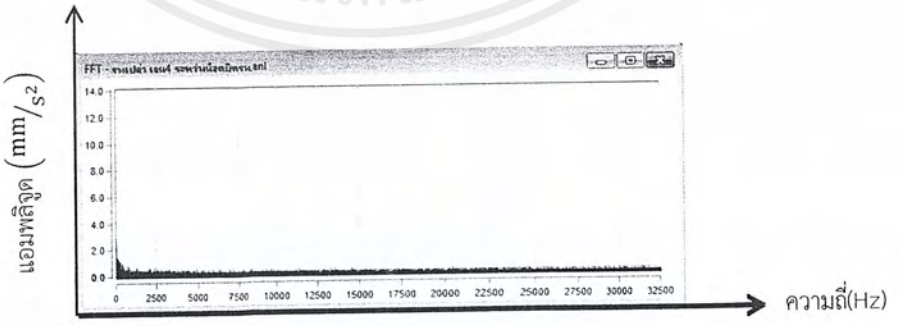
<u>เพื่อเก็บค่าความความถี่รางเปล่า</u>



รูปที่ 3.19 ติดตั้ง Accelerometer ที่เลน 4 วัดค่ารางสินค้าเปล่า



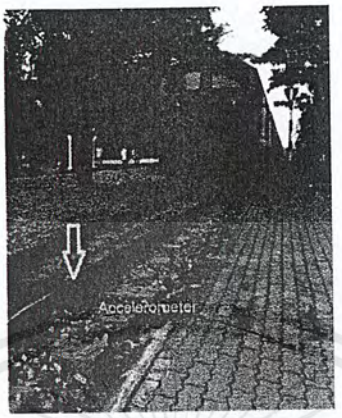
รูปที่ 3.20 กราฟความเร่งของรางเปล่าเลน 4



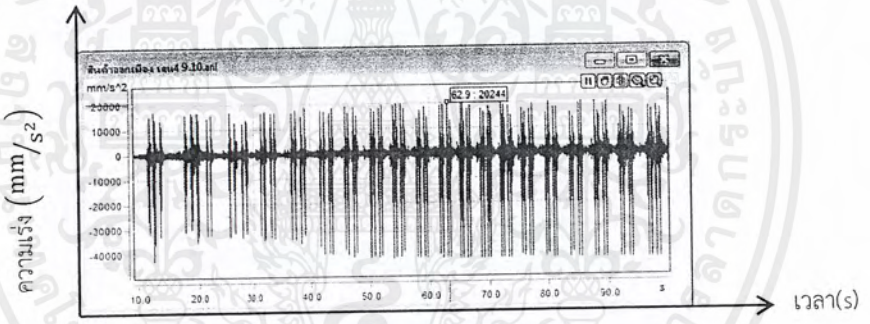
รูปที่ 3.21 กราฟ Frequency Domain ของรางเปล่าเลน 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

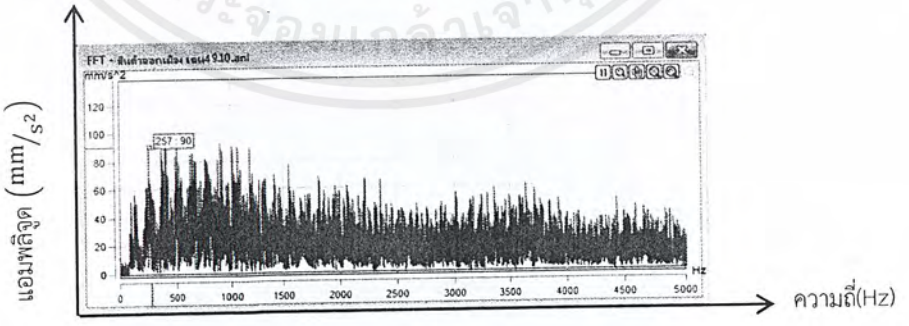
เก็บค่าความถี่ของรถไฟสินค้าที่เลน 4



รูปที่ 3.22 ติดตั้ง Accelerometer ที่เลน 4 รถไฟสินค้าวิ่งผ่านเลน 4



รูปที่ 3.23 กราฟความเร่งของรถไฟสินค้า



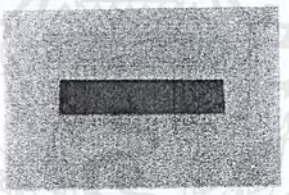
รูปที่ 3.24 กราฟ Frequency Domain ของรถไฟสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

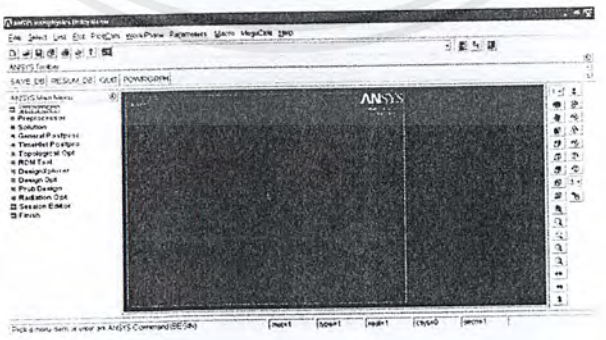
จากกราฟที่ได้จะเห็นว่ามีย่านความถี่ของรางเปล่าอยู่ที่ 50-90 Hz และความถี่ที่เห็นได้ชัดเจนต้องเป็นการติดตั้ง Accelerometer บนเลนที่มีรถไฟวิ่งผ่าน หากติดตั้งห่างออกไปจะมีค่าความถี่ที่เปรียบเสมือนรางเปล่า ดังนั้นจึงจะเลือกใช้ค่าความถี่ที่มีการติดตั้ง Accelerometer บนรางที่มีรถไฟวิ่งผ่านมาเท่านั้น ซึ่งจะมีค่าความถี่อยู่ในช่วง 200-300 Hz โดยปัจจัยที่มีผลต่อความถี่นอกจากจะเป็นน้ำหนักมวลของรถไฟแล้วยังขึ้นอยู่กับความเร็วของรถไฟ คือเมื่อรถไฟวิ่งช้าจะให้ความถี่น้อยและเมื่อรถไฟวิ่งเร็วขึ้นความถี่จะเพิ่มมากขึ้นด้วย

3.2 ออกแบบเพียโซอิเล็กทริค

ใช้โปรแกรม Mechanical APDL (Ansys) 14.0 ในการออกแบบเพียโซอิเล็กทริคที่จะมาใช้ในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนของรางรถไฟ จากการวัดความถี่ของรางรถไฟทำให้เราได้ความถี่ที่ต้องการในช่วง 200-300 Hz โดยจะต้องออกแบบเพียโซอิเล็กทริคให้สามารถให้กำเนิด (Generate) พลังงานได้ที่ความถี่ในช่วง 200-300 Hz ด้วย โดยเราเลือกใช้เพียโซอิเล็กทริครุ่น T220-A4-203X Piezoceramic PSI-5A4E ขนาด 0.51 mm x 6.4 mm x 31.8 mm เพราะเพียโซอิเล็กทริครุ่นนี้สามารถให้กำเนิด (Generate) พลังงานที่ความถี่ไม่เกิน 1500 Hz



รูปที่ 3.25 เพียโซอิเล็กทริคที่เลือกใช้งาน



รูปที่ 3.26 ตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรม Mechanical APDL (Ansys) 14.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 คำสั่งพื้นฐานของโปรแกรม

เราสามารถจำลองเพียโซอิเล็กทริคโดยใช้โปรแกรม Mechanical APDL (ANSYS) 14.0 โดยใช้คำสั่งดังต่อไปนี้

/PREP7	!เปิดใช้กลุ่มคำสั่งการสร้างแบบจำลอง
ET,1,SOLID45	!ชนิดของวัสดุ
MP,DENS,1,ความหนาแน่น	
MP,NUXY,1,Poisson's ratio	
MP,EX,1,Young's modulus	
BLOCK,0,ยาว,0,กว้าง,0,สูง	!กำหนดขนาดสี่เหลี่ยมตามที่ต้องการสามารถใช้คำสั่งอื่นๆในการสร้างแบบจำลองได้โดยการศึกษาจาก
Help topic >PREP7 command	ต่อไปนี้เป็นคำสั่งที่ใช้ในการกำหนดหน่วยของวัสดุ ซึ่งหน่วยเล็กมากๆ
ESIZE,ขนาดของวัสดุ หน่วยเล็กๆ	
VSEL,s,loc,z,0,สูง	
TYPE,1	
MAT,1	
VMESH,all	
Finish	

3.2.2 คำสั่งค่าความถี่ของแบบจำลอง

เมื่อต้องการหาค่าความถี่แบบจำลอง สามารถใช้คำสั่งดังต่อไปนี้ โดยการใส่ในโปรแกรม หลังจากที่สร้างแบบจำลองเสร็จสิ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/SOLU                          !เปิดใช้คำสั่งที่เกี่ยวกับ Solution processor
ANTYPE,modal
MODOPT,LANB,5
MXPAND,5
Nsel,s,loc,แกน,ตำแหน่ง        !เลือกโหนดที่ต้องการจะยึด
d,all,ux,,,,,uy,uy             !ยึดทั้งแถว
nsel,all
solve
Finish
```

หลังจากที่ได้ใส่ CODE ในโปรแกรมแล้ว เราจะสามารถหาค่าความถี่ของแบบจำลองที่เราสร้างขึ้นได้ จากนั้นเราสามารถปรับเปลี่ยนขนาด ของแบบจำลองเพื่อปรับค่าความถี่ของแบบจำลองให้ตรงกับค่าความถี่ที่เราต้องการได้

3.2.3 คำสั่งค่าการกระจัดของแบบจำลอง

เมื่อออกแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานในย่านความถี่ที่เราต้องการได้แล้ว เราจะนำขนาดและความถี่ของแบบจำลองนั้น มาหาค่าการกระจัดโดยการใส่แรงในจุดที่คาดว่าจะเกิดขึ้น โดยการใช้คำสั่งเหล่านี้

```
/SOLU
ANTYPE,HARM                    !Harmonic analysis
HARFRQ,freq1,freq2             !Frequency range
NSUBST,10                      !Number of steps
KBC,1                          !Step load (no ramp)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
nsel,s,loc,x,ตำแหน่ง          !เลือกโหนดที่ต้องการใส่แรงแกน x
nsel,r,loc,y,ตำแหน่ง          !เลือกโหนดที่ต้องการใส่แรงแกน y
nsel,r,loc,z,ตำแหน่ง          !เลือกโหนดที่ต้องการใส่แรงแกน z
f,all,fz,ขนาดของแรง           !ใส่แรงลงไปตรงโหนดที่เลือก
nsel,s,loc,แกน,ตำแหน่ง        !เลือกโหนดที่ต้องการยึด
d,all,ux,,,,,uy,uz            !ยึดทั้งแถว
nsel,all
solve
Finish
```

เมื่อใส่คำสั่งลงไปจะทำให้สามารถหาค่าการกระจัด ของแบบจำลองได้จากการพล๊อตกราฟแสดงการกระจัดในแกน z เทียบกับความถี่ได้ ทำให้เราทราบค่าการกระจัดสูงสุด

3.2.4 คำสั่งค่าความเค้นของแบบจำลอง

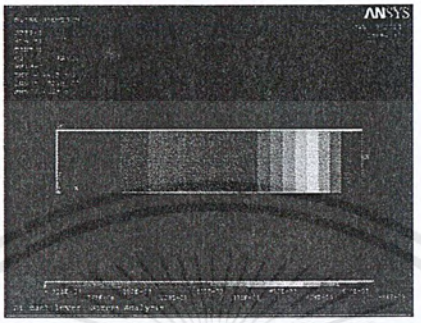
เมื่อทราบค่าการกระจัดของแบบจำลองแล้ว เราสามารถนำค่าการกระจัดนั้นไปหาค่าความเค้นของแบบจำลองต่อไปได้ โดยการใช้คำสั่ง ดังนี้

```
nsel,s,loc,x,ตำแหน่ง          !เลือกโหนดที่ต้องการใส่แรงแกน x
nsel,r,loc,y,ตำแหน่ง          !เลือกโหนดที่ต้องการใส่แรงแกน y
nsel,r,loc,z,ตำแหน่ง          !เลือกโหนดที่ต้องการใส่แรงแกน z
d,all,uz,ขนาดของการกระจัด     !ใส่การกระจัดลงในโหนดที่เลือกไว้
nsel,s,loc,แกน,ตำแหน่ง        !เลือกโหนดที่ต้องการยึด
d,all,ux,,,,,uy,uz            !ยึดทั้งแถว
nsel,all
solve
Finish
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 เพียโซอิเล็กทริคที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Mechanical APDL (ANSYS) 14.0

ทำการออกแบบเพียโซอิเล็กทริคด้วยโปรแกรม Mechanical APDL (ANSYS) 14.0 เป็นเพียโซอิเล็กทริคแบบ Cantilever มี Resonance Frequency เท่ากับ 401.24 Hz



รูปที่ 3.27 โมเดลของเพียโซอิเล็กทริคที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Mechanical APDL (ANSYS) 14.0

3.3 การออกแบบตัวแคมป์สำหรับยึดเพียโซอิเล็กทริค

การติดตั้งเพียโซอิเล็กทริคเข้ากับรางรถไฟนั้นจำเป็นต้องออกแบบตัวแคมป์ (Clamp) ไว้สำหรับยึดตัวเพียโซอิเล็คทริคด้วย โดยเราจะใช้โปรแกรม Solidworks ในการออกแบบ

3.3.1 **ตัวแคมป์ที่ใช้ยึดตัวเพียโซอิเล็กทริค** มีรายละเอียดดังนี้

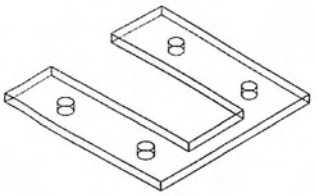
วัสดุ: แผ่นอะคลิลิกใส

ขนาด : 40 mm x 40 mm x 2 mm

ลักษณะ : รูปตัวยู มีรูขนาด 3 mm 4 รูเพื่อใช้สำหรับยึดน็อตขนาด 3M

จำนวน : 2 ชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 ตัวแคมป์ยึดเพียโซอิเล็กทริค จำนวน 1 ชิ้น

3.3.2 **ตัวฐานสำหรับวางเพียโซอิเล็กทริคและแคมป์ยึด** มีรายละเอียด ดังนี้

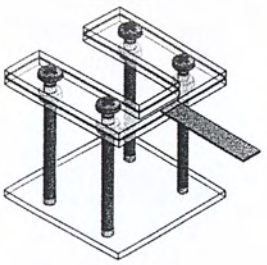
วัสดุ: แผ่นอะคลิลิกใส

ขนาด : 40 mm x 40 mm x 2 mm

ลักษณะ : รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีรูขนาด 3 mm 4 รูเพื่อใช้สำหรับยึดน๊อตขนาด 3M

จำนวน : 1 ชิ้น

รูปที่ 3.29 ฐานวางตัวยึดเพียโซอิเล็กทริค จำนวน 1 ชิ้น



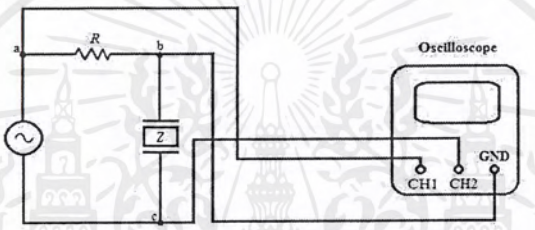
รูปที่ 3.30 ตัวแคมป์เมื่อยึดกับเพียโซอิเล็กทริค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 หา Resonant Frequency ของเพียโซอิเล็กทริค

เพียโซอิเล็กทริคที่เลือกใช้เมื่อทำการ Simulation โดยโปรแกรมแอนซิสจะได้ว่ามี Resonant Frequency เท่ากับ 401.24 Hz แต่ช่วงความถี่ของรางรถไฟจะอยู่ที่ 200-300 Hz เราจึงต้องทดลองเพื่อหา Resonant Frequency ที่อยู่ในช่วงความถี่นั้นที่สามารถให้กำเนิด (Generate) พลังงานได้ดีที่สุด

วัดค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) จากตัวเพียโซอิเล็กทริคเมื่อยึดกับตัวแคมป์เป็นระยะ 2 mm และความต้านทาน 5 กิโลโอห์ม วัดค่าในช่วงความถี่ 5 – 550 Hz ห่างช่วงละ 5 Hz โดยต่อวงจรตามภาพ

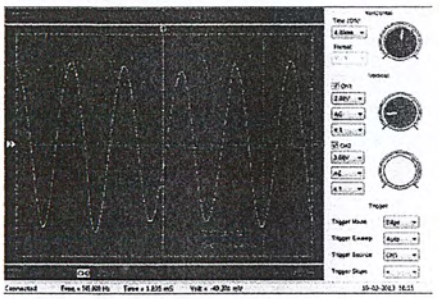


รูปที่ 3.31 วงจรในการต่ออิมพีแดนซ์

ใช้ Oscilloscope รุ่น DSO-2090 USB ในการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการสั่นสะเทือนของเพียโซอิเล็กทริค ซึ่งจะแสดงค่าอินพุตและเอาท์พุต ในหน่วย Vpp

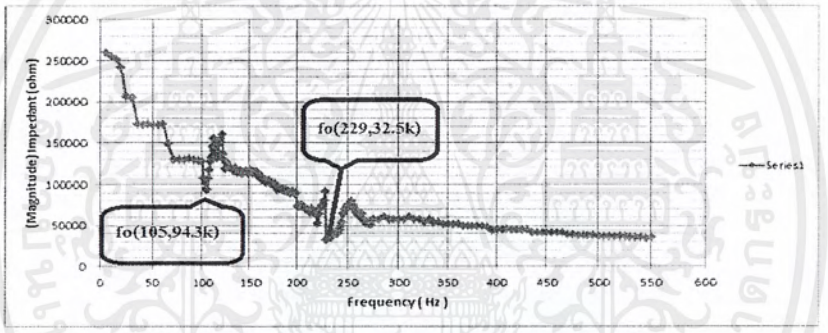
รูปที่ 3.32 Oscilloscope รุ่น DSO-2090 USB [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.33 แรงดันไฟฟ้าจาก Oscilloscope

เมื่อนำกราฟที่ได้มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพีแดนซ์ กับความถี่ จากกราฟจะได้ค่า Resonant Frequency ที่ 105Hz กับ 229Hz



รูปที่ 3.34 กราฟอิมพีแดนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

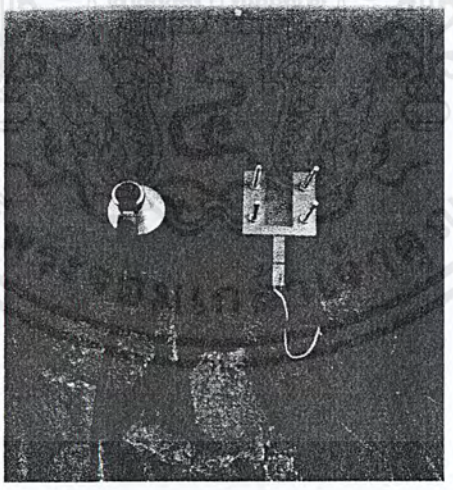
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 วัดแรงดันไฟฟ้าจากการสั่นสะเทือนของรางรถไฟ

4.1.1 วัดแรงดันไฟฟ้าผ่านวงจรอิมพีแดนซ์

การวัดแรงดันจะวัดเช่นเดียวกับการวัดอิมพิแดนซ์แต่จะใช้แรงสั่นสะเทือนจากรางรถไฟเพื่อมาทำให้เพียโซอิเล็กทริคเกิดการสั่นสะเทือนและให้กำเนิด (Generate) พลังงานออกมา ในการวัดจะทำการติดตั้ง Accelerometer & USB DAQERBESSD INSTRUMENTS® และเพียโซอิเล็กทริคที่รางรถไฟวัดค่าแรงดันโดย Oscilloscope รุ่น DSO-2090 USB

วงจรอิมพีแดนซ์ใช้ตัวต้านทาน 5 กิโลโอห์ม ติดตั้งแบบไม่ได้ติดมวล

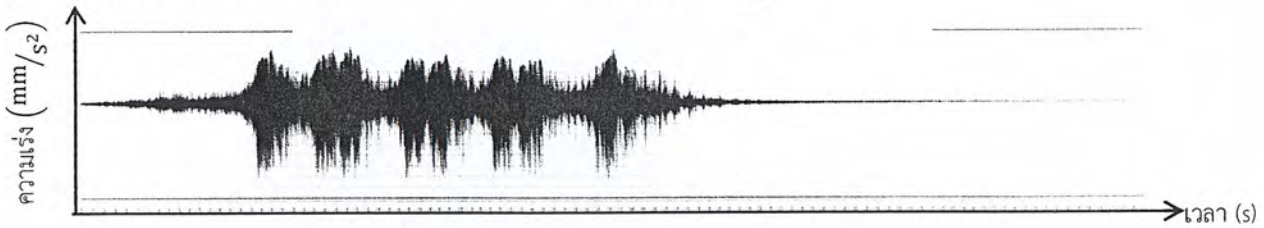


รูปที่ 4.1 ติดตั้ง Accelerometer & USB DAQERBESSD INSTRUMENTS® และเพียโซอิเล็กทริคที่รางรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้งที่เลน 1 วัดแรงดันและความเร่งจากรถไฟโดยสารที่วิ่งผ่านเลน 1

กราฟความเร่ง X-axis คือ เวลา(s) และ Y-axis คือ ความเร่ง ($^{mm}/_{s^2}$)



รูปที่ 4.2 กราฟความเร่งจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 1

กราฟแรงดัน X-axis คือ Time/Div 200 ms และ Y-axis คือ Vol/Div 1V AC

รูปที่ 4.3 กราฟแรงดันจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 1

ได้แรงดันสูงสุดที่ประมาณ 1.7-2.7 Vpp

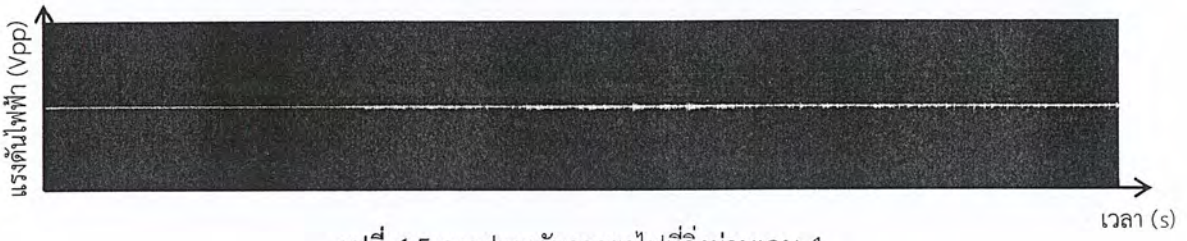
ติดตั้งที่เลน 4 วัดแรงดันและความเร่งจากรถไฟสินค้าที่วิ่งผ่านเลน 4

กราฟความเร่ง X-axis คือ เวลา(s) และ Y-axis คือ ความเร่ง ($^{mm}/_{s^2}$)

รูปที่ 4.4 กราฟความเร่งจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

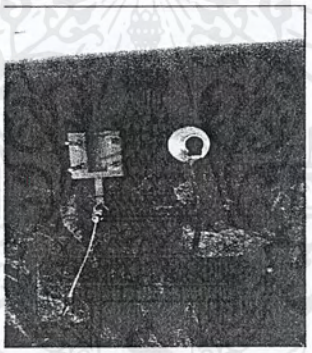
กราฟแรงดัน X-axis คือ Time/Div 200 ms และ Y-axis คือ Vol/Div 1V AC



รูปที่ 4.5 กราฟแรงดันจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 4

ได้แรงดันสูงสุดที่ประมาณ 1.2-1.7 Vpp

วงจรอิมพีแดนซ์ใช้ตัวต้านทาน 5 กิโลโอห์ม ติดตั้งแบบติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม



รูปที่ 4.6 ติดตั้ง Accelerometer & USB DAQERBESSD INSTRUMENTS®และเพียโซอิเล็กทริค ที่รางรถไฟ (ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)

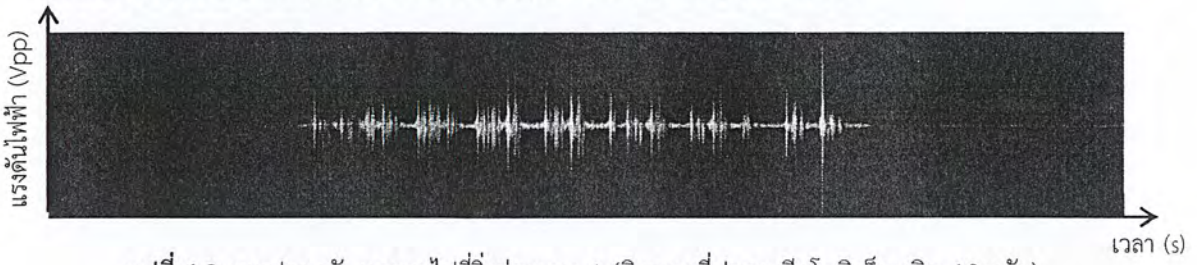
ติดตั้งที่เลน 1 วัดแรงดันและความเร่งจากรถไฟโดยสารที่วิ่งผ่านเลน 1

กราฟความเร่ง X-axis คือ เวลา(s) และ Y-axis คือ ความเร่ง ($^{mm}/_{s^2}$)

รูปที่ 4.7 กราฟความเร่งจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 1 (ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแรงดัน X-axis คือ Time/Div 200 ms และ Y-axis คือ Vol/Div 2V AC



รูปที่ 4.8 กราฟแรงดันจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 1 (ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)

ได้แรงดันสูงสุดที่ประมาณ 10-15 Vpp

ติดตั้งที่เลน 4 วัดแรงดันและความเร่งจากรถไฟสินค้าที่วิ่งผ่านเลน 4

กราฟความเร่ง X-axis คือ เวลา(s) และ Y-axis คือ ความเร่ง ($^{mm}/_{s^2}$)

รูปที่ 4.9 กราฟความเร่งจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 4 (ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)

กราฟแรงดัน X-axis คือ Time/Div 200 ms และ Y-axis คือ Vol/Div 2V AC

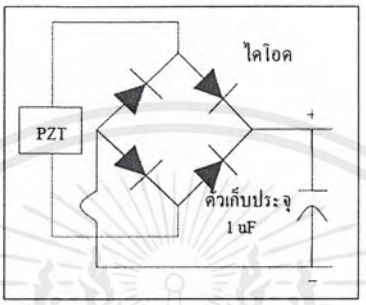
รูปที่ 4.10 กราฟแรงดันจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 4 (ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)

ได้แรงดันสูงสุดที่ประมาณ 5-9 Vpp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

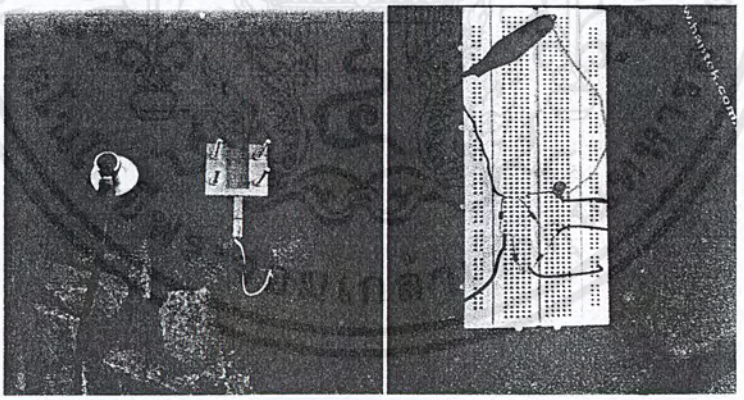
4.1.2 วัดแรงดันไฟฟ้าผ่านวงจรบริดจ์ไดโอดและตัวเก็บประจุ

เนื่องจากสัญญาณที่ได้ยังเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ เราจึงต้องเอาสัญญาณที่ได้มาผ่านวงจรบริดจ์เพื่อที่จะกรองให้เป็นสัญญาณกระแสตรงและนำเข้าไปเก็บในตัวเก็บประจุขนาด 1 ไมโครฟารัด



รูปที่ 4.11 วงจรบริดจ์ไดโอด [13]

วงจรบริดจ์ไดโอดและตัวเก็บประจุ ติดตั้งแบบไม่ได้ติดมวล

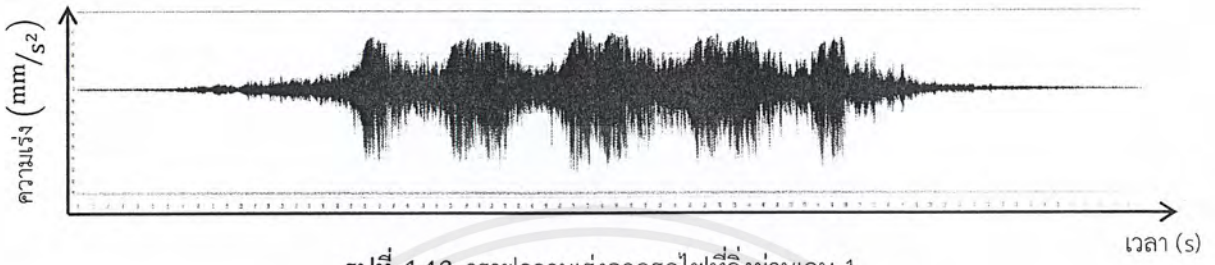


รูปที่ 4.12 ติดตั้ง Accelerometer & USB DAQERBESSD INSTRUMENTS® และเพียโซอิเล็กทริคที่รางรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

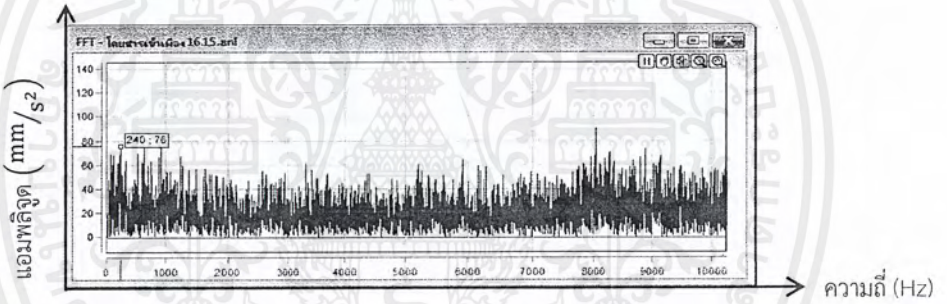
ติดตั้งที่เลน 1 วัดแรงดันและความเร่งจากรถไฟโดยสารที่วิ่งผ่านเลน 1

กราฟความเร่ง X-axis คือ เวลา(s) และ Y-axis คือ ความเร่ง ($^{mm}/_{s^2}$)



รูปที่ 4.13 กราฟความเร่งจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 1

กราฟ Frequency Domain X-axis คือ ความถี่ (Hz) และ Y-axis คือ แอมพลิจูด ($^{mm}/_{s^2}$)



รูปที่ 4.14 กราฟ Frequency Domain จากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 1

กราฟแรงดัน X-axis คือ Time/Div 200 ms และ Y-axis คือ Vol/Div 1V DC

รูปที่ 4.15 กราฟแรงดันจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 1

เมื่อยังไม่ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค จะได้ค่าความถี่ 240 Hz

ได้แรงดันสูงสุดที่ตัวเก็บประจุประมาณ 65mV-125mV

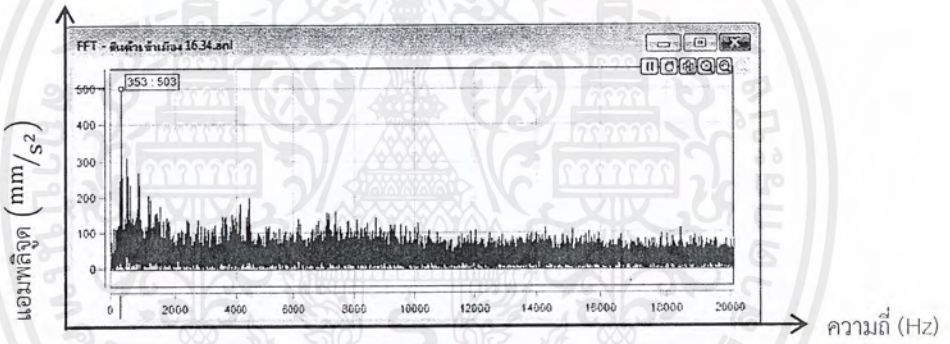
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้งที่เลน 4 วัดแรงดันและความเร่งจากรถไฟสินค้าที่วิ่งผ่านเลน 4

กราฟความเร่ง X-axis คือ เวลา(s) และ Y-axis คือ ความเร่ง ($^{mm}/_{s^2}$)

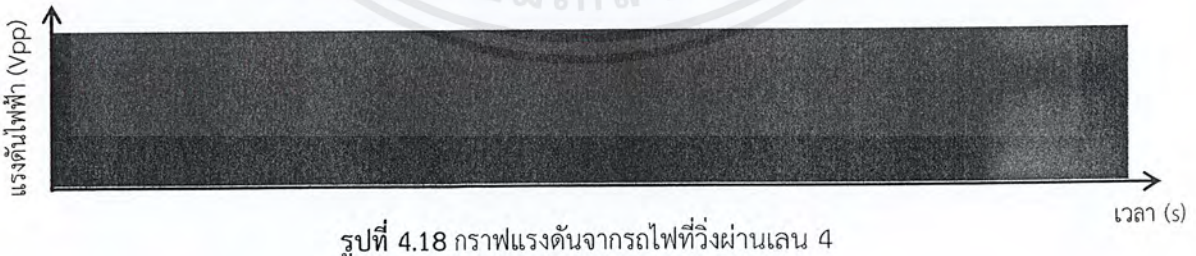
รูปที่ 4.16 กราฟความเร่งจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 4

กราฟ Frequency Domain X-axis คือ ความถี่ (Hz) และ Y-axis คือ แอมพลิจูด ($^{mm}/_{s^2}$)



รูปที่ 4.17 กราฟ Frequency Domain จากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 4

กราฟแรงดัน X-axis คือ Time/Div 200 ms และ Y-axis คือ Vol/Div 1V DC



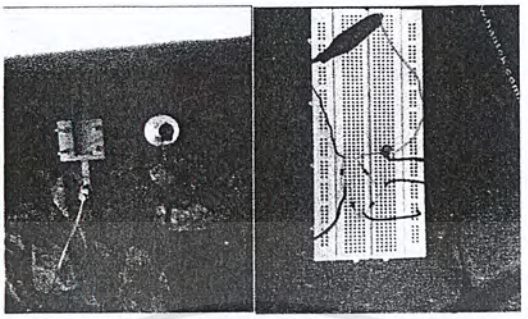
รูปที่ 4.18 กราฟแรงดันจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 4

เมื่อยังไม่ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค จะได้ค่าความถี่ 353 Hz

ได้แรงดันสูงสุดที่ตัวเก็บประจุประมาณ 65mV-125mV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรบริดจ์และตัวเก็บประจุ ติดตั้งแบบติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม



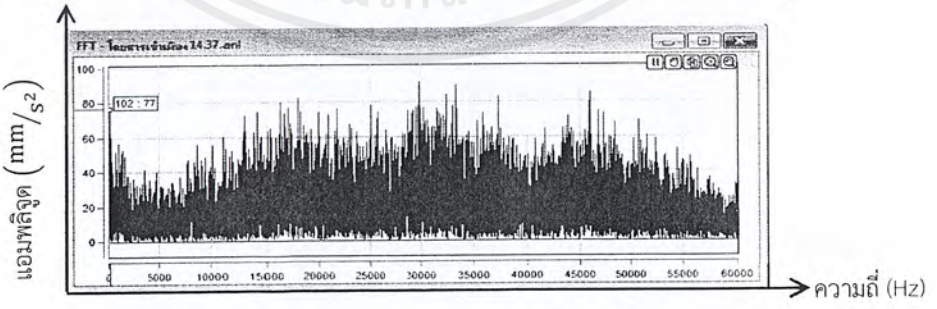
รูปที่ 4.19 ติดตั้ง Accelerometer & USB DAQERBESSD INSTRUMENTS® และเพียโซอิเล็กทริค ที่รางรถไฟ (ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)

ติดตั้งที่เลน 1 วัดแรงดันและความเร่งจากรถไฟโดยสารที่วิ่งผ่านเลน 1

กราฟความเร่ง X-axis คือ เวลา(s) และ Y-axis คือ ความเร่ง ($^{mm}/_{s^2}$)

รูปที่ 4.20 กราฟความเร่งจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 1 (ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)

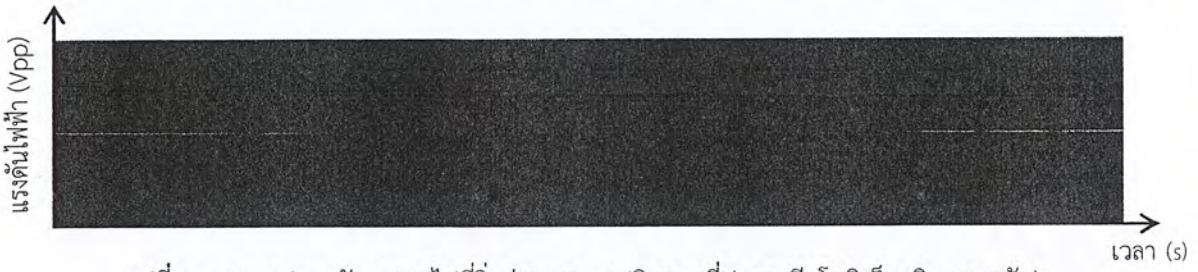
กราฟ Frequency Domain X-axis คือ ความถี่ (Hz) และ Y-axis คือ แอมพลิจูด ($^{mm}/_{s^2}$)



รูปที่ 4.21 กราฟ Frequency Domain จากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 1 (ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแรงดัน X-axis คือ Time/Div 200 ms และ Y-axis คือ Vol/Div 1V DC



รูปที่ 4.22 กราฟแรงดันจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 1 (ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)

เมื่อติดมวล 10 กรัม ที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค จะได้ค่าความถี่ 102 Hz

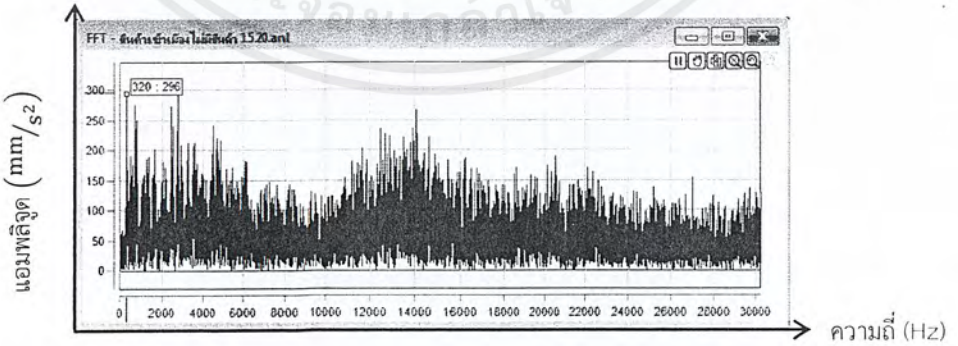
ได้แรงดันสูงสุดที่ตัวเก็บประจุประมาณ 1.5-2.2 Vpp

ติดตั้งที่เลน 4 วัดแรงดันและความเร่งจากรถไฟสินค้าที่วิ่งผ่านเลน 4

กราฟความเร่ง X-axis คือ เวลา(s) และ Y-axis คือ ความเร่ง ($^{mm}/_{s^2}$)

รูปที่ 4.23 กราฟความเร่งจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 4 (ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)

กราฟ Frequency Domain X-axis คือ ความถี่ (Hz) และ Y-axis คือ แอมพลิจูด ($^{mm}/_{s^2}$)



รูปที่ 4.24 กราฟ Frequency Domain จากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 4
(ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแรงดัน X-axis คือ Time/Div 200 ms และ Y-axis คือ Vol/Div 1V DC

รูปที่ 4.25 กราฟแรงดันจากรถไฟที่วิ่งผ่านเลน 4 (ติดมวลที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม)

เมื่อติดมวล 10 กรัม ที่ปลายเพียโซอิเล็กทริค จะได้ค่าความถี่ 320 Hz

ได้แรงดันสูงสุดที่ตัวเก็บประจุประมาณ 1.5-1.7 Vpp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเรื่องการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนของรางรถไฟโดยใช้เพียโซอิเล็กทริคนั้น จะได้ว่าเมื่อรถไฟวิ่งผ่านรางรถไฟที่ได้ติดตั้งเพียโซอิเล็กทริคไว้ เพียโซอิเล็กทริคจะเกิดการสั่นและจะให้พลังงานออกมาในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้อยู่ในช่วง 1.2-2.7 Vpp และเมื่อได้ทำการติดมวลที่ปลายของตัวเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม ทำให้การสั่นมีแอมพลิจูดที่สูงขึ้นและทำให้ได้ค่าแรงดันเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 5-15 Vpp แต่เนื่องจากสัญญาณที่ได้ยังเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ เราจึงต้องเอาสัญญาณที่ได้มาผ่านวงจรบริดจ์เพื่อที่จะกรองให้เป็นสัญญาณกระแสตรงและนำเข้าไปเก็บในตัวเก็บประจุขนาด 1 ไมโครฟารัด แต่ค่าแรงดันที่ได้มีค่าลดลงเหลือในช่วง 65mV-125mV และเมื่อติดมวลที่ปลายของตัวเพียโซอิเล็กทริค 10 กรัม จะได้ค่าแรงดันในช่วง 1.5-2.2 Vpp แต่สัญญาณที่ได้ไม่เรียบพอเนื่องจากตัวเก็บประจุที่ใช้มีค่าน้อย แต่เมื่อเปลี่ยนใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าสูงขึ้นกลับพบว่าสัญญาณมีค่าน้อยมากๆจนเกือบศูนย์ เราจึงไม่สามารถที่ใช้วงจรเก็บพลังงานมาใช้เก็บได้เนื่องจากวงจรเก็บพลังงานจะต้องใช้แรงดันอินพุตที่มีค่าอย่างน้อย 2.7 Vpp แต่แรงดันที่ได้มีค่าน้อยกว่าจึงไม่สามารถเก็บในวงจรเก็บพลังงานได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองจะเห็นว่าไม่สามารถเก็บพลังงานบางส่วนอาจเป็นเพราะว่าการสั่นสะเทือนของรางรถไฟเองยังไม่มีค่ามากพอที่จะทำให้เพียโซอิเล็กทริคเกิดการสั่นจนมีแอมพลิจูดสูงๆได้ ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงมีข้อเสนอแนะว่าให้ลองเปลี่ยนสถานที่ และชนิดของขบวนรถไฟที่แล่นบนรางรถไฟ เพราะค่าความเร็ว และน้ำหนักของรถไฟจะมีผลต่อการแปลงพลังงานไฟฟ้า ซึ่งควรเลือกสถานที่ที่รถไฟไม่ชะลอความเร็ว หรือที่ที่ไม่ใช่จุดโดยสาร และควรเลือกขบวนรถไฟโดยสารชนิดด่วนพิเศษเพราะจะมีความเร็วค่อนข้างมาก อาจจะทำให้สามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานจากการสั่นสะเทือนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ชัยณรงค์ น้อยบางยาง,ถาวร สุวรรณกิจ. 2552. **เพียโซอิเล็กทริคและการประยุกต์ใช้งาน**,วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์, ปีที่ 8, ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2552, หน้า 90-101

[2] S Roundy and P K Wright. 2004. "**A piezoelectric vibration based generator for wirless electronics**, Department of Engineering, Australia

[3] Steven R Anton and Henry A Sodano. 2007. "**A review of power harvesting using piezoelectric materials (2003-2006)**,Smart Mater. Struct.16(2007)R1-R21

[4] McGrew-Hill's AccessScience. **"Harvesting waste energy".** http://accessscience.com/popup.aspx?id=YB120402&name=p int

[5] John Kymissis, Clyde Kendall, Joseph Paradiso, Neil Gershenfeld. "**Parasitic Power Harvesting in Shoes"**, Physics and Media Group, E15-410,USA

[6] **"เส้นทางรถไฟ".** เข้าถึงได้จากเส้นทางรถไฟ http://www.railway.co.thintranetsrtcivilwwwrootrail_map.html

[7] **"ขนาดของรางรถไฟ".** เข้าถึงได้จาก http://www.railway.co.th/intranet/srt/civil/wwwroot/rail_size.html

[8] **"เพียโซอิเล็กทริค".** เข้าถึงได้จาก http://www.piezo.com/oemexpertise.html

[9] "Accelerometer". เข้าถึงได้จาก http://www.ebay.it/itm/USB-ACCELEROMETER-VIBRATION-ANALISIS-SOFTWARE-NEW-/270704339327?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item3f073c697f#ht_2990wt_1139

[10] **"โปรแกรมแอนซิส".** เข้าถึงได้จาก https://d2t1xqejof9utc.cloudfront.net/pictures/files/9005/large.PNG?1331279183

[11] "Acceloscope". เข้าถึงได้จาก http://122.155.5.74/view.DSO-2090_USB_PC-Based_Digital_Oscilloscope-5564.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] "**ข้อมูลรถไฟโดยสาร**". เข้าถึงได้จาก
http://portal.rotfaithai.com/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=4

[11] "**ข้อมูลรถไฟสินค้า**". เข้าถึงได้จาก
http://www.railway.co.th/home/srt/cargo/cargotype.asp

[12] "**วงจรจัดเก็บพลังงาน**". เข้าถึงได้จาก
http://www.electroniq.net/blog/ltc3588-1-piezoelectric-energy-harvesting-power-supply.html

[13] "**วงจรเรียงกระแส**". เข้าถึงได้จาก
http://dc386.4shared.com/doc/g0fia0DV/preview_html_72979677.png

[14] "**วงจรทอนระดับแรงดัน**". เข้าถึงได้จาก
http://www.s4wsbox.com/?q=node/40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

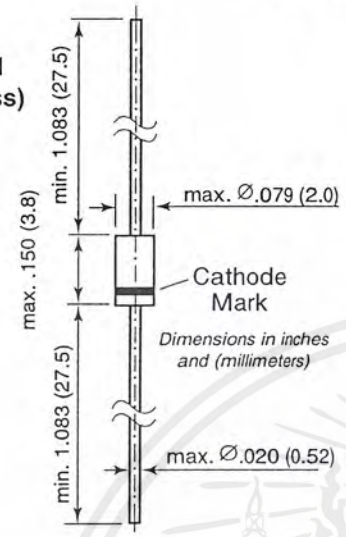
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vishay Semiconductors
formerly General Semiconductor

Schottky Diode

DO-204AH
(DO-35 Glass)



Features

- For general purpose applications.
- This diode features very low turn-on voltage and fast switching. This device is protected by a PN junction guard ring against excessive voltage, such as electrostatic discharges
- This diode is also available in the SOD-123 case with type designation BAT46W and in the MiniMELF case with type designations LL46.

Mechanical Data

Case: DO-35 Glass Case

Weight: approx. 0.13g

Packaging Codes/Options:
D7/10K per 13" reel (52mm tape), 20K/box
D8/10K per Ammo tape (52mm tape), 20K/box

Maximum Ratings & Thermal Characteristics

Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.

Parameter	Symbol	Value	Unit
Repetitive Peak Reverse Voltage	V_{RRM}	100	V
Forward Continuous Current at T_{amb} = 25°C	I_F	150(1)	mA
Repetitive Peak Forward Current at t_p < 1s, δ < 0.5, T_{amb} = 25°C	I_{FRM}	350(1)	mA
Surge Forward Current at t_p < 10ms, T_{amb} = 25°C	I_{FSM}	750(1)	mA
Power Dissipation(1) at T_{amb} = 65°C	P_{tot}	150(1)	mW
Thermal Resistance Juntion to Ambient Air	$R_{\theta JA}$	0.3(1)	°C/mW
Junction Temperature	T_j	125	°C
Ambient Operating Temperature Range	T_{amb}	−65 to +125	°C
Storage Temperature Range	T_S	−65 to +150	°C

Electrical Characteristics

(T_J = 25°C unless otherwise noted)

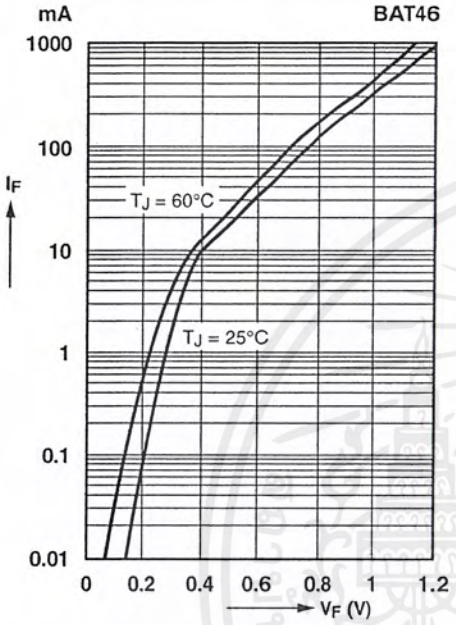
Parameter	Symbol	Test Condition	Min	Typ	Max	Unit
Reverse Breakdown Voltage	$V_{(BR)R}$	I_R = 100µA (pulsed)	100	—	—	V
Leakage Current Pulse Test tp < 300µs, δ < 2%	I_R	V_R = 1.5V	—	—	0.5	µA
		V_R = 1.5V, Tj = 60°C	—	—	5	
		V_R = 10V	—	—	0.8	
		V_R = 10V, Tj = 60°C	—	—	7.5	
		V_R = 50V	—	—	2	
		V_R = 50V, Tj = 60°C	—	—	15	
		V_R = 75V	—	—	5	
		V_R = 75V, Tj = 60°C	—	—	20	
Forward Voltage Pulse Test tp < 300µs, δ < 2%	V_F	I_F = 0.1mA	—	—	0.25	V
		I_F = 10mA	—	—	0.45	
		I_F = 250mA	—	—	1	
Capacitance	C_{tot}	V_R = 0V, f = 1MHz	—	10	—	pF
		V_R = 1V, f = 1MHz	—	6	—	

Note: (1) Valid provided that leads at a distance of 4mm from case are kept at ambient temperature

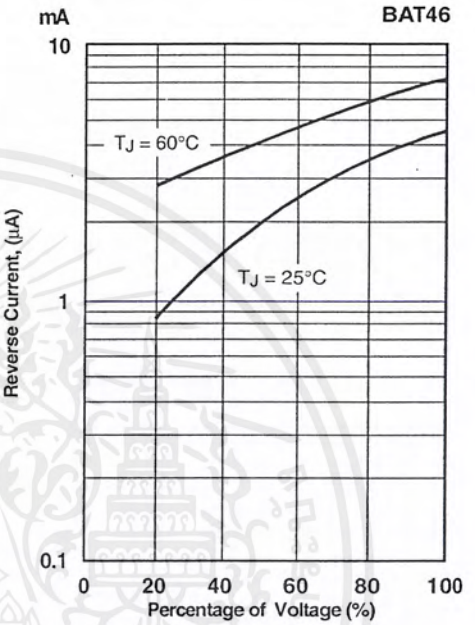
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ratings and Characteristic Curves (TA = 25°C unless otherwise noted)

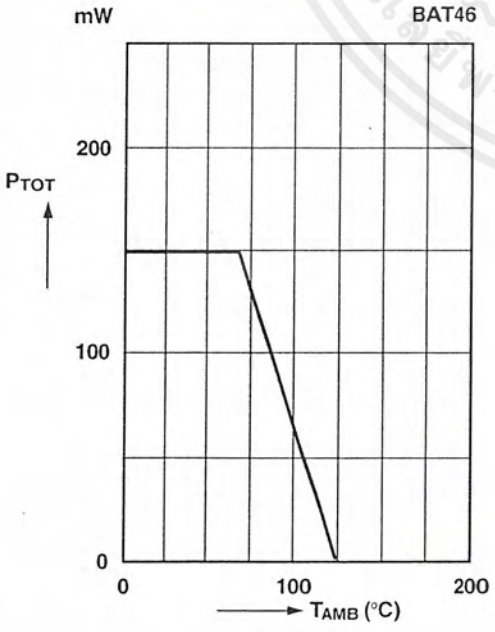
Forward Characteristics



Typical Reverse Characteristics



Admissible Power Dissipation vs. Ambient Temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LTC3588-1

Piezoelectric Energy Harvesting Power Supply

FEATURES

- **950nA Input Quiescent Current (Output in Regulation – No Load)**
- **450nA Input Quiescent Current in UVLO**
- **2.7V to 20V Input Operating Range**
- **Integrated Low-Loss Full-Wave Bridge Rectifier**
- **Up to 100mA of Output Current**
- **Selectable Output Voltages of 1.8V, 2.5V, 3.3V, 3.6V**
- High Efficiency Integrated Hysteretic Buck DC/DC
- Input Protective Shunt – Up to 25mA Pull-Down at $V_{IN} \geq 20V$
- Wide Input Undervoltage Lockout (UVLO) Range
- Available in 10-Lead MSE and 3mm × 3mm DFN Packages

APPLICATIONS

- Piezoelectric Energy Harvesting
- Electro-Mechanical Energy Harvesting
- Wireless HVAC Sensors
- Mobile Asset Tracking
- Tire Pressure Sensors
- Battery Replacement for Industrial Sensors
- Remote Light Switches
- Standalone Nanopower Buck Regulator

DESCRIPTION

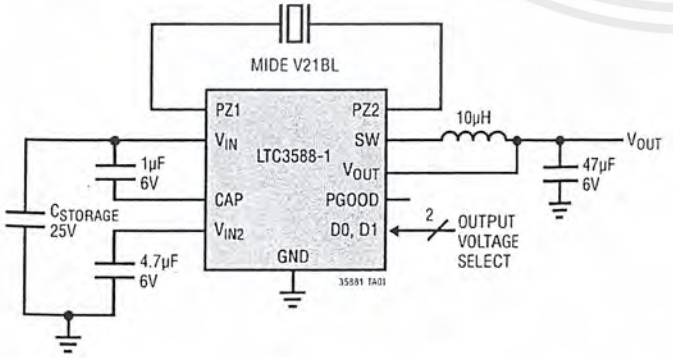
The LTC®3588-1 integrates a low-loss full-wave bridge rectifier with a high efficiency buck converter to form a complete energy harvesting solution optimized for high output impedance energy sources such as piezoelectric transducers. An ultralow quiescent current undervoltage lockout (UVLO) mode with a wide hysteresis window allows charge to accumulate on an input capacitor until the buck converter can efficiently transfer a portion of the stored charge to the output. In regulation, the LTC3588-1 enters a sleep state in which both input and output quiescent currents are minimal. The buck converter turns on and off as needed to maintain regulation.

Four output voltages, 1.8V, 2.5V, 3.3V and 3.6V, are pin selectable with up to 100mA of continuous output current; however, the output capacitor may be sized to service a higher output current burst. An input protective shunt set at 20V enables greater energy storage for a given amount of input capacitance.

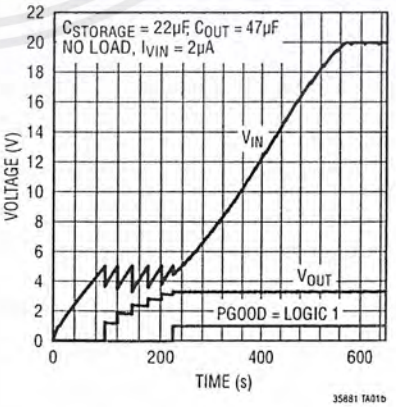
LT, LTC, LTM, Linear Technology, the Linear logo and Burst Mode are registered trademarks of Linear Technology Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners.

TYPICAL APPLICATION

100mA Piezoelectric Energy Harvesting Power Supply



LTC3588-1 3.3V Regulator Start-Up Profile



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

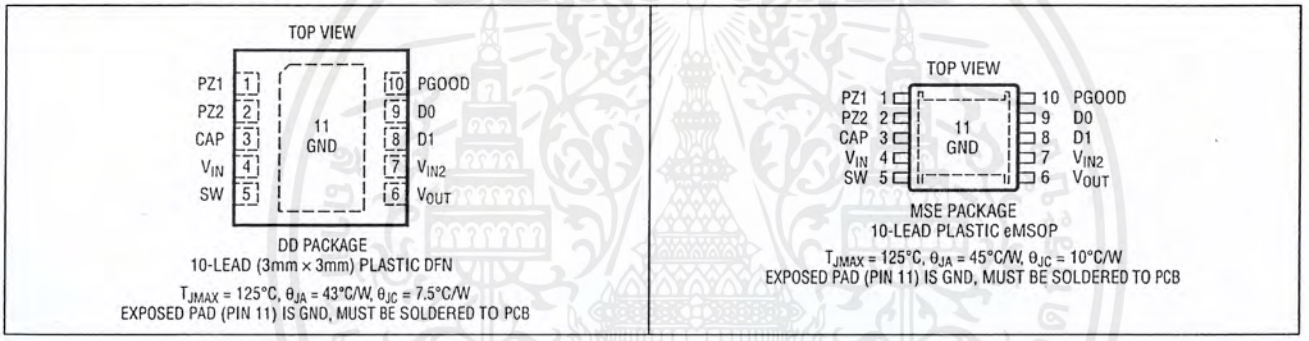
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Note 1)

V_{IN}
Low Impedance Source .....–0.3V to 18V*
Current Fed, I_{SW} = 0A .....25mA†
PZ1, PZ2.....0V to V_{IN}
D0, D1.....–0.3V to [Lesser of (V_{IN2} + 0.3V) or 6V]
CAP.....[Higher of –0.3V or (V_{IN} – 6V)] to V_{IN}
V_{IN2}.....–0.3V to [Lesser of (V_{IN} + 0.3V) or 6V]

* V_{IN} has an internal 20V clamp
† For t < 1ms and Duty Cycle < 1%,
Absolute Maximum Continuous Current = 5mA

V_{OUT}.....–0.3V to Lesser of (V_{IN2} + 0.3V) or 6V
PGOOD.....–0.3V to Lesser of (V_{OUT} + 0.3V) or 6V
I_{PZ1}, I_{PZ2} .....±50mA
I_{SW}.....350mA
Operating Junction Temperature Range
(Notes 2, 3).....–40 to 125°C
Storage Temperature Range.....–65 to 150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)
MSE Only..... 300°C

PIN CONFIGURATION



ORDER INFORMATION

LEAD FREE FINISH	TAPE AND REEL	PART MARKING*	PACKAGE DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE
LTC3588EDD-1#PBF	LTC3588EDD-1#TRPBF	LFKY	10-Lead (3mm × 3mm) Plastic DFN	–40°C to 125°C
LTC3588IDD-1#PBF	LTC3588IDD-1#TRPBF	LFKY	10-Lead (3mm × 3mm) Plastic DFN	–40°C to 125°C
LTC3588EMSE-1#PBF	LTC3588EMSE-1#TRPBF	LTFKX	10-Lead Plastic eMSOP	–40°C to 125°C
LTC3588IMSE-1#PBF	LTC3588IMSE-1#TRPBF	LTFKX	10-Lead Plastic eMSOP	–40°C to 125°C

Consult LTC Marketing for parts specified with wider operating temperature ranges. *The temperature grade is identified by a label on the shipping container.

For more information on lead free part marking, go to: http://www.linear.com/leadfree/
This product is only offered in trays. For more information go to: http://www.linear.com/packaging/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

The ● denotes the specifications which apply over the full operating junction temperature range, otherwise specifications are for T_A = 25°C. (Note 2) V_{IN} = 5.5V unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
V_{IN}	Input Voltage Range	Low Impedance Source on V_{IN}	●			18.0	V
I_{VIN}	V_{IN} Quiescent Current						
	UVLO	V_{IN} = 2.5V, Not PGOOD			450	700	nA
	Buck Enabled, Sleeping	V_{IN} = 4.5V			950	1500	nA
	Buck Enabled, Sleeping	V_{IN} = 18V			1.7	2.5	µA
	Buck Enabled, Not Sleeping	I_{SW} = 0A (Note 4)			150	250	µA
V_{UVLO}	V_{IN} Undervoltage Lockout Threshold	V_{IN} Rising					
		1.8V Output Selected; D1 = 0, D0 = 0	●	3.77	4.04	4.30	V
		2.5V Output Selected; D1 = 0, D0 = 1	●	3.77	4.04	4.30	V
		3.3V Output Selected; D1 = 1, D0 = 0	●	4.73	5.05	5.37	V
		3.6V Output Selected; D1 = 1, D0 = 1	●	4.73	5.05	5.37	V
		V_{IN} Falling					
		1.8V Output Selected; D1 = 0, D0 = 0	●	2.66	2.87	3.08	V
		2.5V Output Selected; D1 = 0, D0 = 1	●	2.66	2.87	3.08	V
		3.3V Output Selected; D1 = 1, D0 = 0	●	3.42	3.67	3.91	V
		3.6V Output Selected; D1 = 1, D0 = 1	●	3.75	4.02	4.28	V
V_{SHUNT}	V_{IN} Shunt Regulator Voltage	I_{VIN} = 1mA		19.0	20.0	21.0	V
I_{SHUNT}	Maximum Protective Shunt Current	1ms Duration		25			mA
	Internal Bridge Rectifier Loss ($\lvert V_{PZ1} - V_{PZ2} \rvert - V_{IN}$)	I_{BRIDGE} = 10µA		350	400	450	mV
	Internal Bridge Rectifier Reverse Leakage Current	$V_{REVERSE}$ = 18V				20	nA
	Internal Bridge Rectifier Reverse Breakdown Voltage	$I_{REVERSE}$ = 1µA		V_{SHUNT}	30		V
V_{OUT}	Regulated Output Voltage	1.8V Output Selected					
		Sleep Threshold	●		1.812	1.890	V
		Wake-Up Threshold	●	1.710	1.788		V
		2.5V Output Selected					
		Sleep Threshold	●		2.512	2.575	V
		Wake-Up Threshold	●	2.425	2.488		V
		3.3V Output Selected					
		Sleep Threshold	●		3.312	3.399	V
		Wake-Up Threshold	●	3.201	3.288		V
		3.6V Output Selected					
		Sleep Threshold	●		3.612	3.708	V
		Wake-Up Threshold	●	3.492	3.588		V
	PGOOD Falling Threshold	As a Percentage of the Selected V_{OUT}		83	92		%
I_{VOUT}	Output Quiescent Current	V_{OUT} = 3.6V			89	150	nA
I_{PEAK}	Buck Peak Switch Current			200	260	350	mA
I_{BUCK}	Available Buck Output Current			100			mA
R_P	Buck PMOS Switch On-Resistance				1.1		Ω
R_N	Buck NMOS Switch On-Resistance				1.3		Ω
	Max Buck Duty Cycle		●	100			%
$V_{IH(D0, D1)}$	D0/D1 Input High Voltage		●	1.2			V
$V_{IL(D0, D1)}$	D0/D1 Input Low Voltage		●			0.4	V
$I_{IH(D0, D1)}$	D0/D1 Input High Current					10	nA
$I_{IL(D0, D1)}$	D0/D1 Input Low Current					10	nA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Note 1: Stresses beyond those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. Exposure to any Absolute Maximum Rating condition for extended periods may affect device reliability and lifetime.

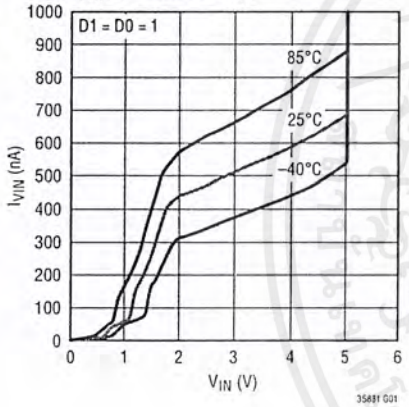
Note 2: The LTC3588-1 is tested under pulsed load conditions such that $T_J \approx T_A$. The LTC3588E-1 is guaranteed to meet specifications from 0°C to 85°C junction temperature. Specifications over the –40°C to 125°C operating junction temperature range are assured by design, characterization, and correlation with statistical process controls. The LTC3588I-1 is guaranteed over the full –40°C to 125°C operating junction temperature range. Note that the maximum ambient temperature consistent with these specifications is determined by specific operating conditions in conjunction with board layout, the rated package thermal impedance and other environmental factors.

Note 3: The junction temperature (T_J, in °C) is calculated from the ambient temperature (T_A, in °C) and power dissipation (P_D, in Watts) according to the formula: $T_J = T_A + (P_D \bullet \theta_{JA})$, where θ_{JA} (in °C/W) is the package thermal impedance.

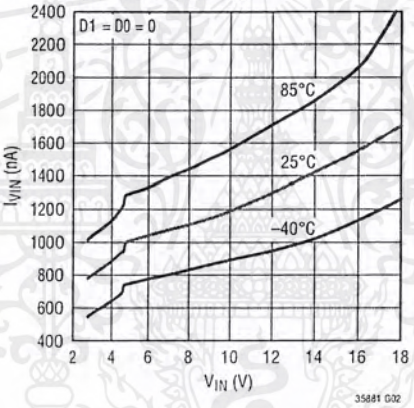
Note 4: Dynamic supply current is higher due to gate charge being delivered at the switching frequency.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

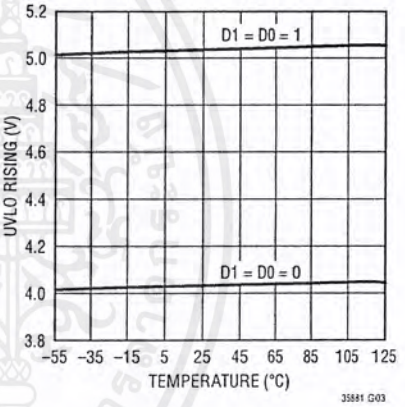
I_{VIN} in UVLO vs V_{IN}



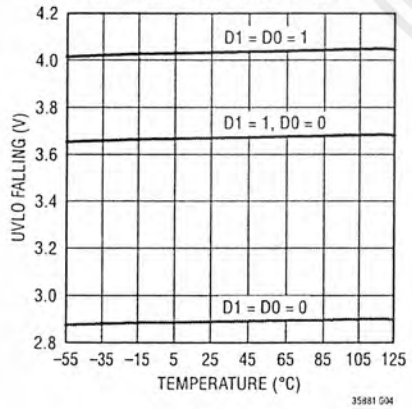
I_{VIN} in Sleep vs V_{IN}



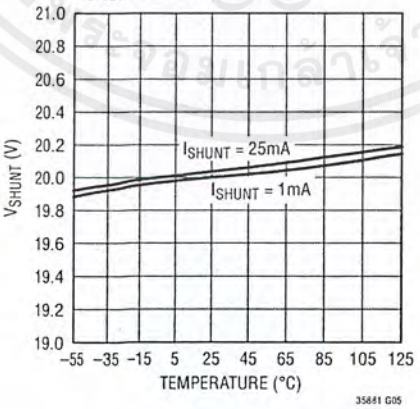
UVLO Rising vs Temperature



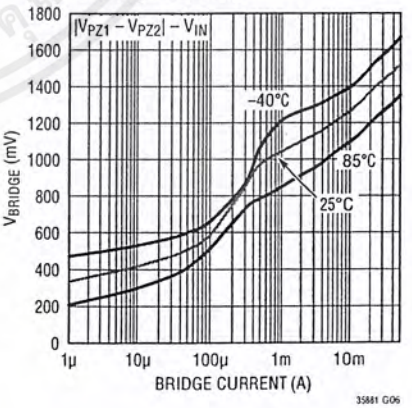
UVLO Falling vs Temperature



V_{SHUNT} vs Temperature



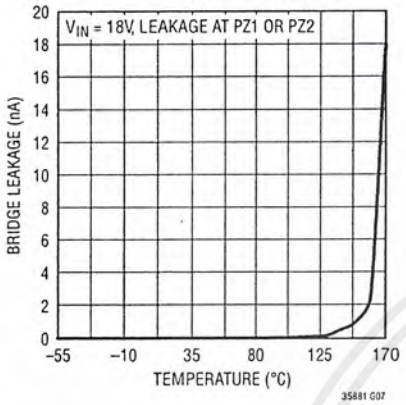
Total Bridge Rectifier Drop vs Bridge Current



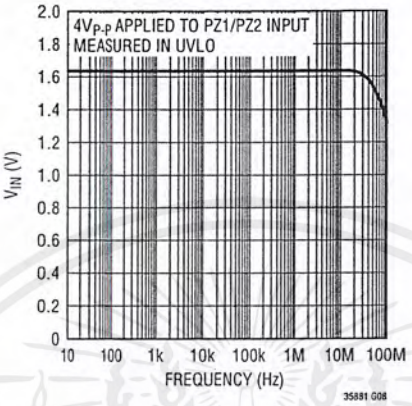
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

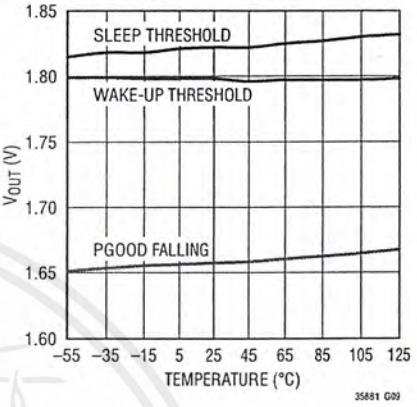
Bridge Leakage vs Temperature



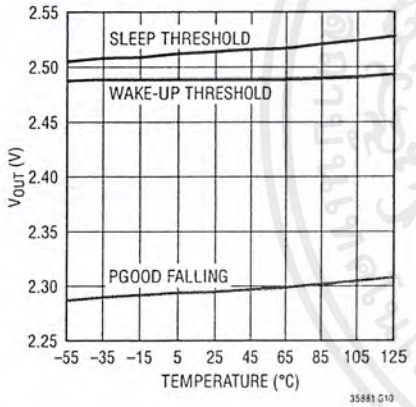
Bridge Frequency Response



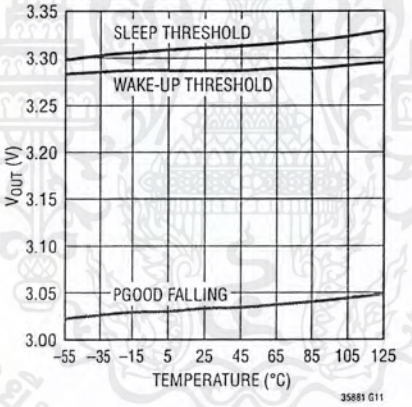
1.8V Output vs Temperature



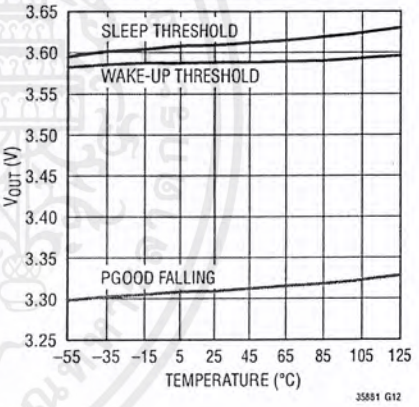
2.5V Output vs Temperature



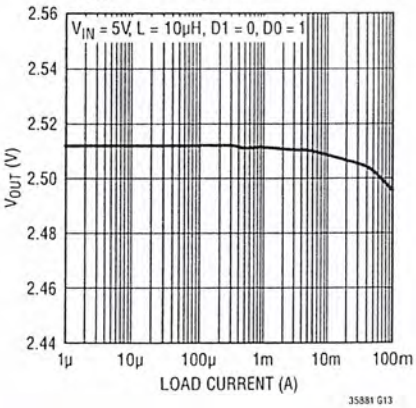
3.3V Output vs Temperature



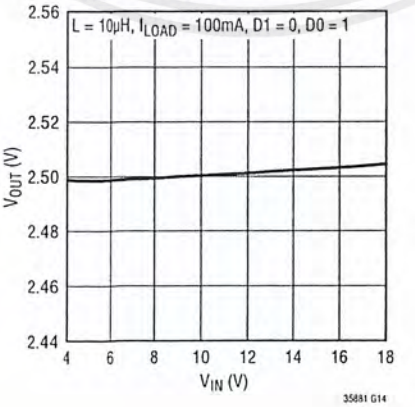
3.6V Output vs Temperature



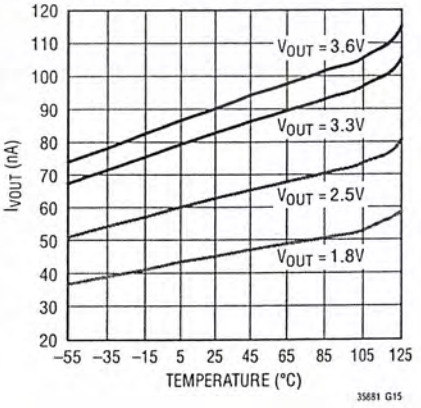
V_{OUT} Load Regulation



V_{OUT} Line Regulation



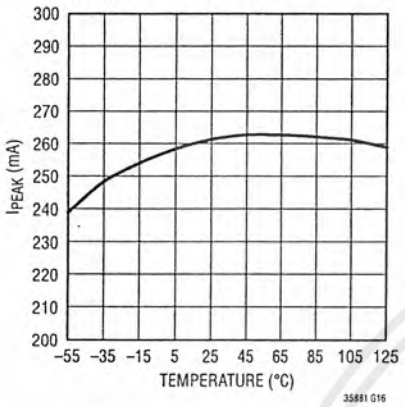
I_{VOUT} vs Temperature



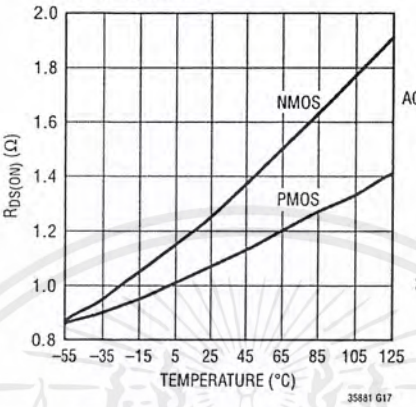
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

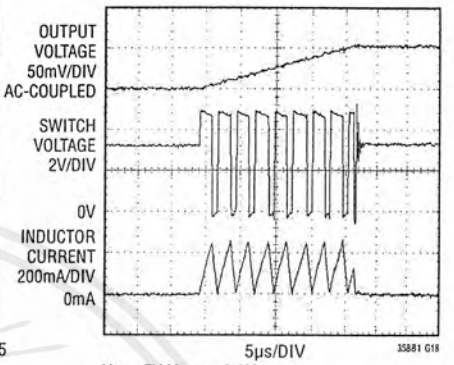
I_{PEAK} vs Temperature



$R_{DS(ON)}$ of PMOS/NMOS vs Temperature

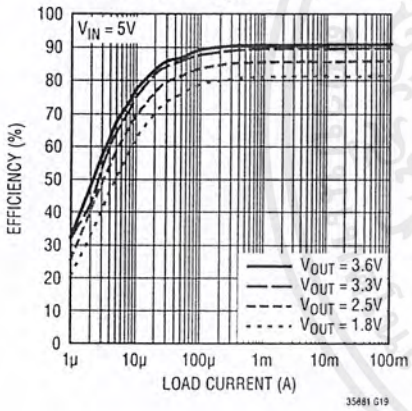


Operating Waveforms

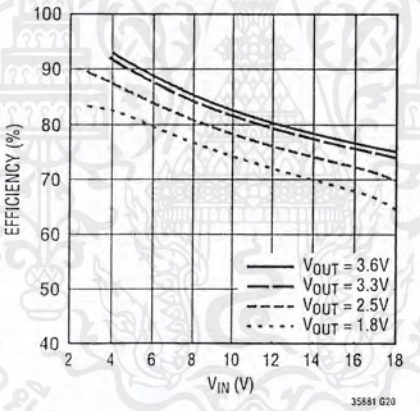


V_{IN} = 5V, V_{OUT} = 3.3V
I_{LOAD} = 1mA
L = 10µH, C_{OUT} = 47µF

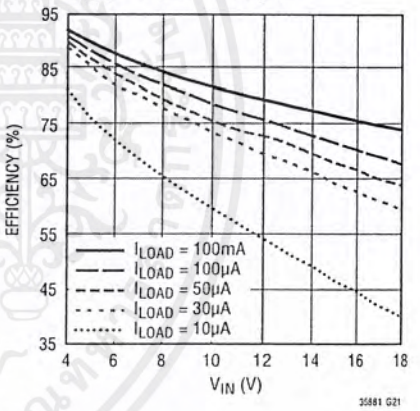
Efficiency vs I_{LOAD}, L = 10µH



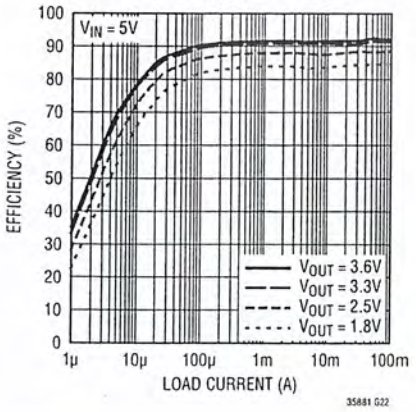
Efficiency vs V_{IN} for I_{LOAD} = 100mA, L = 10µH



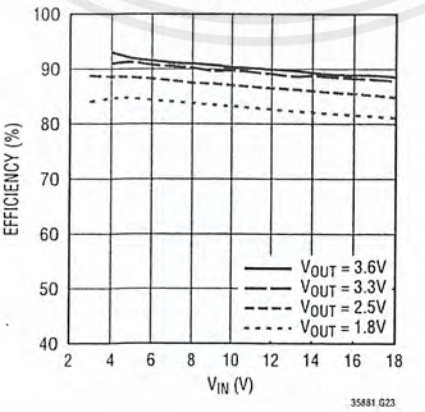
Efficiency vs V_{IN} for V_{OUT} = 3.3V, L = 10µH



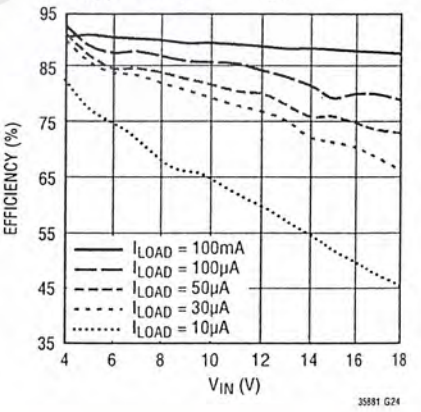
Efficiency vs I_{LOAD}, L = 100µH



Efficiency vs V_{IN} for I_{LOAD} = 100mA, L = 100µH



Efficiency vs V_{IN} for V_{OUT} = 3.3V, L = 100µH



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN FUNCTIONS

PZ1 (Pin 1): Input connection for piezoelectric element or other AC source (used in conjunction with PZ2).

PZ2 (Pin 2): Input connection for piezoelectric element or other AC source (used in conjunction with PZ1).

CAP (Pin 3): Internal rail referenced to V_{IN} to serve as gate drive for buck PMOS switch. A 1µF capacitor should be connected between CAP and V_{IN}. This pin is not intended for use as an external system rail.

V_{IN} (Pin 4): Rectified Input Voltage. A capacitor on this pin serves as an energy reservoir and input supply for the buck regulator. The V_{IN} voltage is internally clamped to a maximum of 20V (typical).

SW (Pin 5): Switch Pin for the Buck Switching Regulator. A 10µH or larger inductor should be connected from SW to V_{OUT}.

V_{OUT} (Pin 6): Sense pin used to monitor the output voltage and adjust it through internal feedback.

V_{IN2} (Pin 7): Internal low voltage rail to serve as gate drive for buck NMOS switch. Also serves as a logic high rail for output voltage select bits D0 and D1. A 4.7µF capacitor should be connected from V_{IN2} to GND. This pin is not intended for use as an external system rail.

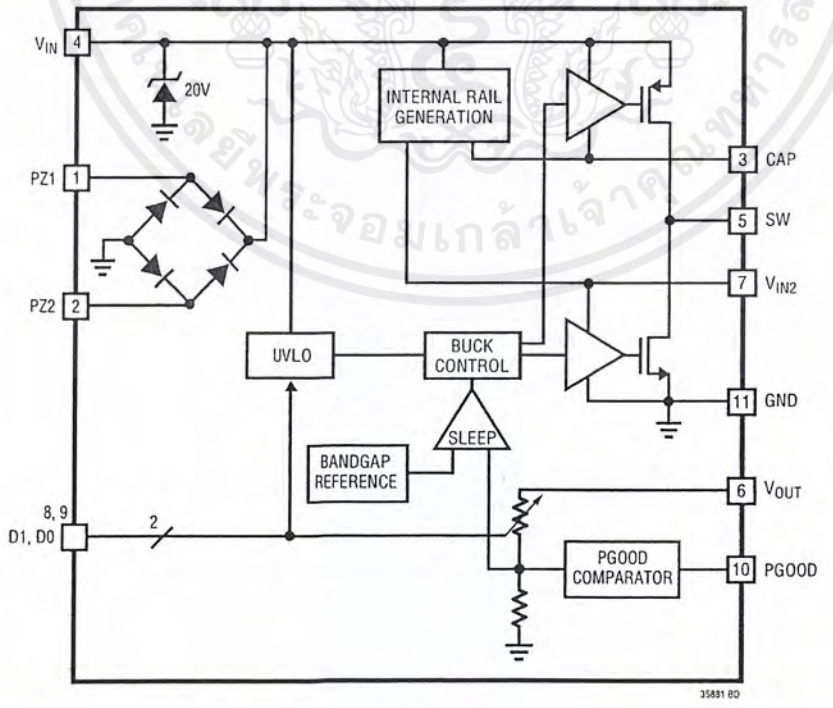
D1 (Pin 8): Output Voltage Select Bit. D1 should be tied high to V_{IN2} or low to GND to select desired V_{OUT} (see Table 1).

D0 (Pin 9): Output Voltage Select Bit. D0 should be tied high to V_{IN2} or low to GND to select desired V_{OUT} (see Table 1).

PGOOD (Pin 10): Power good output is logic high when V_{OUT} is above 92% of the target value. The logic high is referenced to the V_{OUT} rail.

GND (Exposed Pad Pin 11): Ground. The Exposed Pad should be connected to a continuous ground plane on the second layer of the printed circuit board by several vias directly under the LTC3588-1.

BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATION

The LTC3588-1 is an ultralow quiescent current power supply designed specifically for energy harvesting and/or low current step-down applications. The part is designed to interface directly to a piezoelectric or alternative A/C power source, rectify a voltage waveform and store harvested energy on an external capacitor, bleed off any excess power via an internal shunt regulator, and maintain a regulated output voltage by means of a nanopower high efficiency synchronous buck regulator.

Internal Bridge Rectifier

The LTC3588-1 has an internal full-wave bridge rectifier accessible via the differential PZ1 and PZ2 inputs that rectifies AC inputs such as those from a piezoelectric element. The rectified output is stored on a capacitor at the V_{IN} pin and can be used as an energy reservoir for the buck converter. The low-loss bridge rectifier has a total drop of about 400mV with typical piezo generated currents (~10µA). The bridge is capable of carrying up to 50mA. One side of the bridge can be operated as a single-ended DC input. PZ1 and PZ2 should never be shorted together when the bridge is in use.

Undervoltage Lockout (UVLO)

When the voltage on V_{IN} rises above the UVLO rising threshold the buck converter is enabled and charge is transferred from the input capacitor to the output capacitor. A wide (~1V) UVLO hysteresis window is employed with a lower threshold approximately 300mV above the selected regulated output voltage to prevent short cycling during buck power-up. When the input capacitor voltage is depleted below the UVLO falling threshold the buck converter is disabled. Extremely low quiescent current (450nA typical) in UVLO allows energy to accumulate on the input capacitor in situations where energy must be harvested from low power sources.

Internal Rail Generation

Two internal rails, CAP and V_{IN2}, are generated from V_{IN} and are used to drive the high side PMOS and low side NMOS of the buck converter, respectively. Additionally the V_{IN2} rail serves as logic high for output voltage select bits D0 and D1. The V_{IN2} rail is regulated at 4.8V above GND while the CAP rail is regulated at 4.8V below V_{IN}. These are not intended to be used as external rails. Bypass capacitors are connected to the CAP and V_{IN2} pins to serve as energy reservoirs for driving the buck switches. When V_{IN} is below 4.8V, V_{IN2} is equal to V_{IN} and CAP is held at GND. Figure 1 shows the ideal V_{IN}, V_{IN2} and CAP relationship.

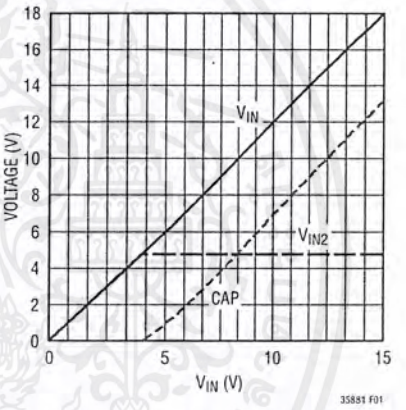


Figure 1. Ideal V_{IN}, V_{IN2} and CAP Relationship

Buck Operation

The buck regulator uses a hysteretic voltage algorithm to control the output through internal feedback from the V_{OUT} sense pin. The buck converter charges an output capacitor through an inductor to a value slightly higher than the regulation point. It does this by ramping the inductor current up to 260mA through an internal PMOS switch and then ramping it down to 0mA through an internal NMOS switch. This efficiently delivers energy to the output capacitor. The ramp rate is determined by V_{IN}, V_{OUT}, and the inductor value. If the input voltage falls below the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATION

UVLO falling threshold before the output voltage reaches regulation, the buck converter will shut off and will not be turned on until the input voltage again rises above the UVLO rising threshold. During this time the output voltage will be loaded by less than 100nA. When the buck brings the output voltage into regulation the converter enters a low quiescent current sleep state that monitors the output voltage with a sleep comparator. During this operating mode load current is provided by the buck output capacitor. When the output voltage falls below the regulation point the buck regulator wakes up and the cycle repeats. This hysteretic method of providing a regulated output reduces losses associated with FET switching and maintains an output at light loads. The buck delivers a minimum of 100mA of average load current when it is switching.

When the sleep comparator signals that the output has reached the sleep threshold the buck converter may be in the middle of a cycle with current still flowing through the inductor. Normally both synchronous switches would turn off and the current in the inductor would freewheel to zero through the NMOS body diode. The LTC3588-1 keeps the NMOS switch on during this time to prevent the conduction loss that would occur in the diode if the NMOS were off. If the PMOS is on when the sleep comparator trips the NMOS will turn on immediately in order to ramp down the current. If the NMOS is on it will be kept on until the current reaches zero.

Though the quiescent current when the buck is switching is much greater than the sleep quiescent current, it is still a small percentage of the average inductor current which results in high efficiency over most load conditions. The buck operates only when sufficient energy has been accumulated in the input capacitor and the length of time the converter needs to transfer energy to the output is much less than the time it takes to accumulate energy. Thus, the buck operating quiescent current is averaged over a long period of time so that the total average quiescent current is low. This feature accommodates sources that harvest small amounts of ambient energy.

Four selectable voltages are available by tying the output select bits, D0 and D1, to GND or V_{IN2}. Table 1 shows the four D0/D1 codes and their corresponding output voltages.

Table 1. Output Voltage Selection

D1	D0	V_{OUT}	V_{OUT} QUIESCENT CURRENT (I_{VOUT})
0	0	1.8V	44nA
0	1	2.5V	62nA
1	0	3.3V	81nA
1	1	3.6V	89nA

The internal feedback network draws a small amount of current from V_{OUT} as listed in Table 1.

Power Good Comparator

A power good comparator produces a logic high referenced to V_{OUT} on the PGOOD pin the first time the converter reaches the sleep threshold of the programmed V_{OUT}, signaling that the output is in regulation. The PGOOD pin will remain high until V_{OUT} falls to 92% of the desired regulation voltage. Several sleep cycles may occur during this time. Additionally, if PGOOD is high and V_{IN} falls below the UVLO falling threshold, PGOOD will remain high until V_{OUT} falls to 92% of the desired regulation point. This allows output energy to be used even if the input is lost. Figure 2 shows the behavior for V_{OUT} = 3.6V and no load. At t = 75s V_{IN} becomes high impedance and is discharged by the quiescent current of the LTC3588-1 and through servicing V_{OUT} which is discharged by its own leakage current. V_{IN} crosses UVLO falling but PGOOD remains high until V_{OUT} decreases to 92% of the desired regulation point. The PGOOD pin is designed to drive a microprocessor or other chip I/O and is not intended to drive higher current loads such as an LED.

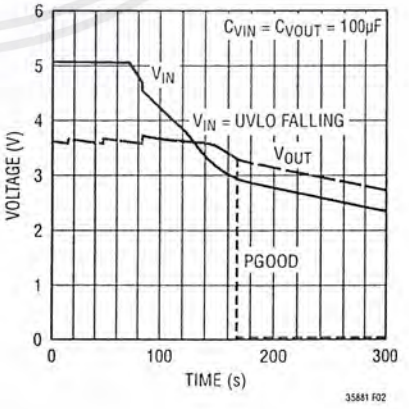


Figure 2. PGOOD Operation During Transition to UVLO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATION

The D0/D1 inputs can be switched while in regulation as shown in Figure 3. If V_{OUT} is programmed to a voltage with a PGOOD falling threshold above the old V_{OUT}, PGOOD will transition low until the new regulation point is reached. When V_{OUT} is programmed to a lower voltage, PGOOD will remain high through the transition.

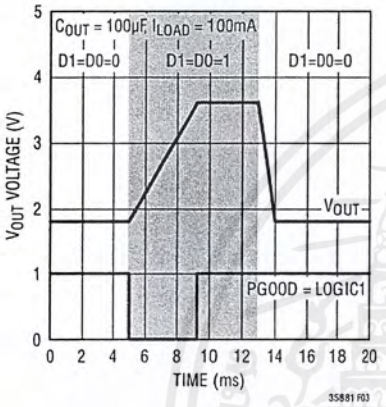


Figure 3. PGOOD Operation During D0/D1 Transition

Energy Storage

Harvested energy can be stored on the input capacitor or the output capacitor. The wide input range takes advantage of the fact that energy storage on a capacitor is proportional to the square of the capacitor voltage. After the output voltage is brought into regulation any excess energy is stored on the input capacitor and its voltage increases. When a load exists at the output the buck can efficiently transfer energy stored at a high voltage to the regulated output. While energy storage at the input utilizes the high voltage at the input, the load current is limited to what the buck converter can supply. If larger loads need to be serviced the output capacitor can be sized to support a larger current for some duration. For example, a current burst could begin when PGOOD goes high and would continuously deplete the output capacitor until PGOOD went low.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS INFORMATION

Introduction

The LTC3588-1 harvests ambient vibrational energy through a piezoelectric element in its primary application. Common piezoelectric elements are PZT (lead zirconate titanate) ceramics, PVDF (polyvinylidene fluoride) polymers, or other composites. Ceramic piezoelectric elements exhibit a piezoelectric effect when the crystal structure of the ceramic is compressed and internal dipole movement produces a voltage. Polymer elements comprised of long-chain molecules produce a voltage when flexed as molecules repel each other. Ceramics are often used under direct pressure while a polymer can be flexed more readily. A wide range of piezoelectric elements are available and produce a variety of open-circuit voltages and short-circuit currents. Typically the open-circuit voltage and short-circuit currents increase with available vibrational energy as shown in Figure 4. Piezoelectric elements can be placed in series or in parallel to achieve desired open-circuit voltages.

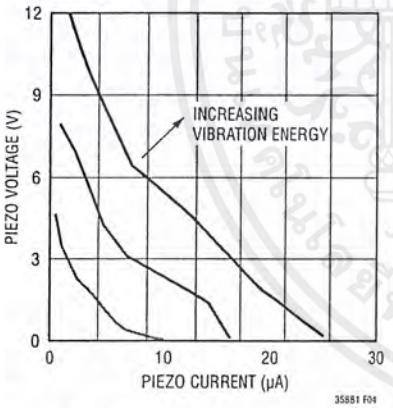


Figure 4. Typical Piezoelectric Load Lines for Piezo Systems T220-A4-503X

The LTC3588-1 is well-suited to a piezoelectric energy harvesting application. The 20V input protective shunt can accommodate a variety of piezoelectric elements. The low quiescent current of the LTC3588-1 enables efficient energy accumulation from piezoelectric elements which can have short-circuit currents on the order of tens of microamps. Piezoelectric elements can be obtained from manufacturers listed in Table 2.

Table 2. Piezoelectric Element Manufacturers

Advanced Cerametrics	www.advancedcerametrics.com
Piezo Systems	www.piezo.com
Measurement Specialties	www.meas-spec.com
PI (Physik Instrumente)	www.pi-usa.us
MIDE Technology Corporation	www.mide.com
Morgan Technical Ceramics	www.morganelectroceramics.com

The LTC3588-1 will gather energy and convert it to a useable output voltage to power microprocessors, wireless sensors, and wireless transmission components. Such a wireless sensor application may require much more peak power than a piezoelectric element can produce. However, the LTC3588-1 accumulates energy over a long period of time to enable efficient use for short power bursts. For continuous operation, these bursts must occur with a low duty cycle such that the total output energy during the burst does not exceed the average source power integrated over an energy accumulation cycle. For piezoelectric inputs the time between cycles could be minutes, hours, or longer depending on the selected capacitor values and the nature of the vibration source.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS INFORMATION

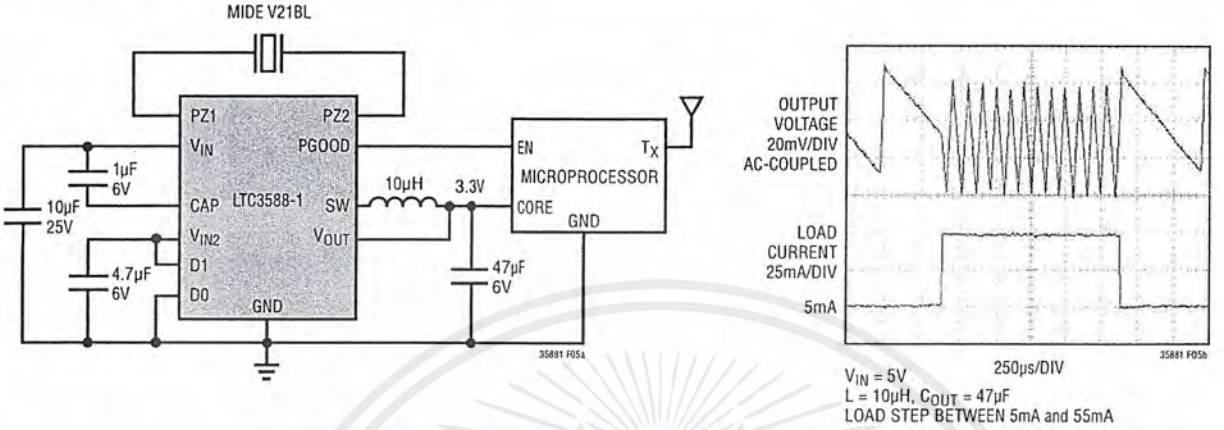


Figure 5. 3.3V Piezoelectric Energy Harvester Powering a Microprocessor with a Wireless Transmitter and 50mA Load Step Response

PGOOD Signal

The PGOOD signal can be used to enable a sleeping microprocessor or other circuitry when V_{OUT} reaches regulation, as shown in Figure 5. Typically V_{IN} will be somewhere between the UVLO thresholds at this time and a load could only be supported by the output capacitor. Alternatively, waiting a period of time after PGOOD goes high would let the input capacitor accumulate more energy allowing load current to be maintained longer as the buck efficiently transfers that energy to the output. While active, a microprocessor may draw a small load when operating sensors, and then draw a large load to transmit data. Figure 5 shows the LTC3588-1 responding smoothly to such a load step.

Input and Output Capacitor Selection

The input and output capacitors should be selected based on the energy needs and load requirements of the application. In every case the V_{IN} capacitor should be rated to withstand the highest voltage ever present at V_{IN}. For 100mA or smaller loads, storing energy at the input takes advantage of the high voltage input since the buck can deliver 100mA average load current efficiently to the output. The input capacitor should then be sized to store enough energy to provide output power for the length of time required. This may involve using a large capacitor, letting V_{IN} charge to a high voltage, or both. Enough energy should be stored on the input so that the buck does not reach the UVLO falling threshold which would halt energy transfer to the output. In general:

$$P_{LOAD} t_{LOAD} = \frac{1}{2} \eta C_{IN} \left(V_{IN}^2 - V_{UVLOFALLING}^2 \right)$$

$$V_{UVLOFALLING} \leq V_{IN} \leq V_{SHUNT}$$

The above equation can be used to size the input capacitor to meet the power requirements of the output for the desired duration. Here η is the average efficiency of the buck converter over the input range and V_{IN} is the input voltage when the buck begins to switch. This equation may overestimate the input capacitor necessary since load current can deplete the output capacitor all the way to the lower PGOOD threshold. It also assumes that the input source charging has a negligible effect during this time.

The duration for which the regulator sleeps depends on the load current and the size of the output capacitor. The sleep time decreases as the load current increases and/or as the output capacitor decreases. The DC sleep hysteresis window is ±12mV around the programmed output voltage. Ideally this means that the sleep time is determined by the following equation:

$$t_{SLEEP} = C_{OUT} \frac{24mV}{I_{LOAD}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS INFORMATION

This is true for output capacitors on the order of 100µF or larger, but as the output capacitor decreases towards 10µF delays in the internal sleep comparator along with the load current may result in the V_{OUT} voltage slewing past the ±12mV thresholds. This will lengthen the sleep time and increase V_{OUT} ripple. A capacitor less than 10µF is not recommended as V_{OUT} ripple could increase to an undesirable level.

If transient load currents above 100mA are required then a larger capacitor can be used at the output. This capacitor will be continuously discharged during a load condition and the capacitor can be sized for an acceptable drop in V_{OUT}:

$$C_{OUT} = (V_{OUT+} - V_{OUT-}) \frac{I_{LOAD} - I_{BUCK}}{t_{LOAD}}$$

Here V_{OUT+} is the value of V_{OUT} when PGOOD goes high and V_{OUT-} is the desired lower limit of V_{OUT}. I_{BUCK} is the average current being delivered from the buck converter, typically $I_{PEAK}/2$.

A standard surface mount ceramic capacitor can be used for C_{OUT}, though some applications may be better suited to a low leakage aluminum electrolytic capacitor or a supercapacitor. These capacitors can be obtained from manufacturers such as Vishay, Illinois Capacitor, AVX, or CAP-XX.

Inductor

The buck is optimized to work with an inductor in the range of 10µH to 22µH, although inductor values outside this range may yield benefits in some applications. For typical applications, a value of 10µH is recommended. A larger inductor will benefit high voltage applications by increasing the on-time of the PMOS switch and improving efficiency by reducing gate charge loss. Choose an inductor with a DC current rating greater than 350mA. The DCR of the inductor can have an impact on efficiency as it is a source of loss. Tradeoffs between price, size, and DCR should be evaluated. Table 3 lists several inductors that work well with the LTC3588-1.

Table 3. Recommended Inductors for LTC3588-1

INDUCTOR TYPE	L (µH)	MAX I_{DC} (mA)	MAX DCR (Ω)	SIZE in mm (L × W × H)	MANU-FACTURER
CDRH2D18/LDNP	10	430	0.180	3 × 3 × 2	Sumida
107AS-100M	10	650	0.145	2.8 × 3 × 1.8	Toko
EPL3015-103ML	10	350	0.301	2.8 × 3 × 1.5	Coilcraft
MLP3225s100L	10	1000	0.130	3.2 × 2.5 × 1.0	TDK
XLP2010-163ML	10	490	0.611	2.0 × 1.9 × 1.0	Coilcraft
SLF7045T	100	500	0.250	7.0 × 7.0 × 4.5	TDK

V_{IN2} and CAP Capacitors

A 1µF capacitor should be connected between V_{IN} and CAP and a 4.7µF capacitor should be connected between V_{IN2} and GND. These capacitors hold up the internal rails during buck switching and compensate the internal rail generation circuits. In applications where the input source is limited to less than 6V, the CAP pin can be tied to GND and the V_{IN2} pin can be tied to V_{IN} as shown in Figure 6. An optional 5.6V Zener diode can be connected to V_{IN} to clamp V_{IN} in this scenario. The leakage of the Zener diode below its Zener voltage should be considered as it may be comparable to the quiescent current of the LTC3588-1. This circuit does not require the capacitors on V_{IN2} and CAP, saving components and allowing a lower voltage rating for the single V_{IN} capacitor.

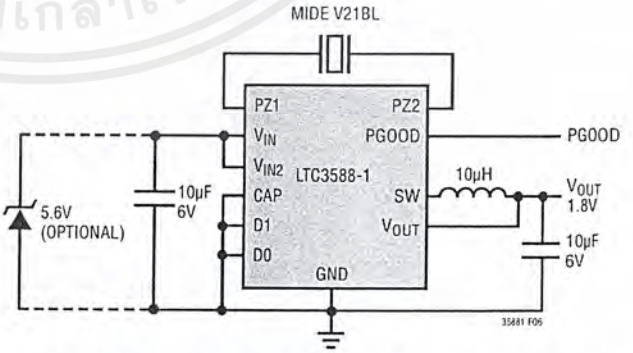


Figure 6. Smallest Solution Size 1.8V Low Voltage Input Piezoelectric Power Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS INFORMATION

Additional Applications with Piezo Inputs

The versatile LTC3588-1 can be used in a variety of configurations. Figure 7 shows a single piezo source powering two LTC3588-1s simultaneously, providing capability for multiple rail systems. This setup features automatic supply sequencing as the LTC3588-1 with the lower voltage output (i.e. lower UVLO rising threshold) will come up first. As the piezo provides input power both V_{IN} rails will initially come up together, but when one output starts drawing power, only its corresponding V_{IN} will fall as the bridges of each LTC3588-1 provide isolation. Input piezo energy will then be directed to this lower voltage capacitor until both V_{IN} rails are again equal. This configuration is expandable to any number of LTC3588-1s powered by a single piezo as long as the piezo can support the sum total of the quiescent currents from each LTC3588-1.

A piezo powered LTC3588-1 can also be used in concert with a battery connected to V_{IN} to supplement the system if ambient vibrational energy ceases as shown in Figure 8. A blocking diode placed in series with the battery to V_{IN} prevents reverse current in the battery if the piezo source charges V_{IN} past the battery voltage. A 9V battery is shown, but any stack of batteries of a given chemistry can be used as long as the battery stack voltage does not exceed 18V. In this setup the presence of the piezo energy harvester can greatly increase the life of the battery. If the piezo source is removed the LTC3588-1 can serve as a standalone nanopower buck converter. In this case the bridge is unused and the blocking diode is unnecessary.

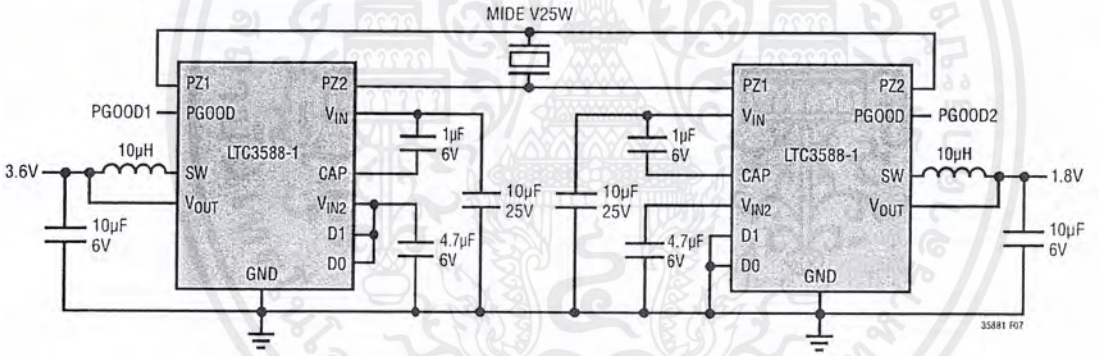


Figure 7. Dual Rail Power Supply with Single Piezo and Automatic Supply Sequencing

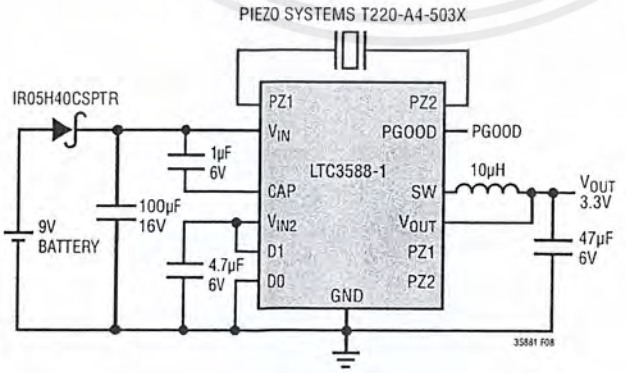
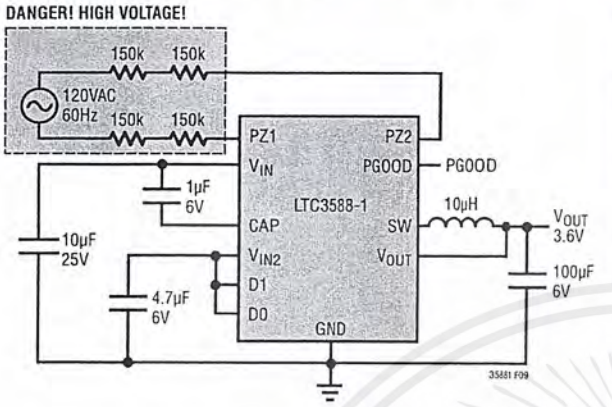


Figure 8. Piezo Energy Harvester with Battery Backup

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS INFORMATION



DANGEROUS AND LETHAL POTENTIALS ARE PRESENT IN OFFLINE CIRCUITS! BEFORE PROCEEDING ANY FURTHER, THE READER IS WARNED THAT CAUTION MUST BE USED IN THE CONSTRUCTION, TESTING AND USE OF OFFLINE CIRCUITS. EXTREME CAUTION MUST BE USED IN WORKING WITH AND MAKING CONNECTIONS TO THESE CIRCUITS. REPEAT: OFFLINE CIRCUITS CONTAIN DANGEROUS, AC LINE-CONNECTED HIGH VOLTAGE POTENTIALS. USE CAUTION. ALL TESTING PERFORMED ON AN OFFLINE CIRCUIT MUST BE DONE WITH AN ISOLATION TRANSFORMER CONNECTED BETWEEN THE OFFLINE CIRCUIT'S INPUT AND THE AC LINE. USERS AND CONSTRUCTORS OF OFFLINE CIRCUITS MUST OBSERVE THIS PRECAUTION WHEN CONNECTING TEST EQUIPMENT TO THE CIRCUIT TO AVOID ELECTRIC SHOCK. REPEAT: AN ISOLATION TRANSFORMER MUST BE CONNECTED BETWEEN THE CIRCUIT INPUT AND THE AC LINE IF ANY TEST EQUIPMENT IS TO BE CONNECTED.

Figure 9. AC Line Powered 3.6V Buck Regulator with Large Output Capacitor to Support Heavy Loads

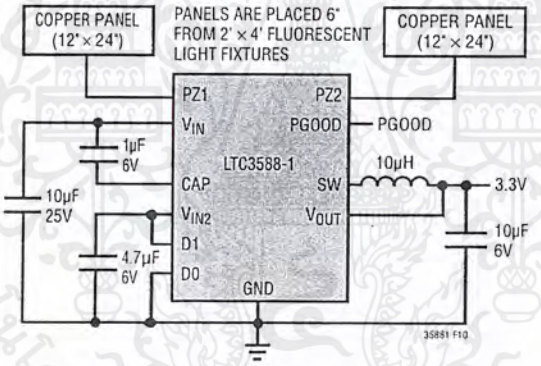


Figure 10. Electric Field Energy Harvester

Alternate Power Sources

The LTC3588-1 is not limited to use with piezoelectric elements but can accommodate a wide variety of input sources depending on the type of ambient energy available. Figure 9 shows the LTC3588-1 internal bridge rectifier connected to the AC line in series with four 150k current limiting resistors. This is a high voltage application and minimum spacing between the line, neutral, and any high voltage components should be maintained per the applicable UL specification. For general off-line applications refer to UL regulation 1012.

Figure 10 shows an application where copper panels are placed near a standard fluorescent room light to capacitively harvest energy from the electric field around the light. The frequency of the emission will be 120Hz for magnetic ballasts but could be higher if the light uses electronic ballast. The LTC3588-1 bridge rectifier can handle a wide range of input frequencies.

The LTC3588-1 can also be configured for use with DC sources such as a solar panel or thermal couple as shown in Figures 11 and 12 by connecting them to one of the PZ1/PZ2 inputs. Connecting the two sources in this way prevents reverse current from flowing in each element. Current limiting resistors should be used to protect the PZ1 or PZ2 pins. This can be combined with a battery backup connected to V_{IN} with a blocking diode.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS INFORMATION

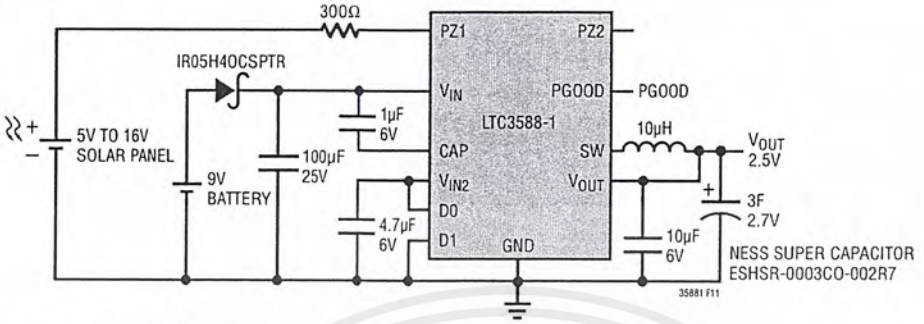


Figure 11. 5V to 16V Solar-Powered 2.5V Supply with Supercapacitor for Increased Output Energy Storage and Battery Backup

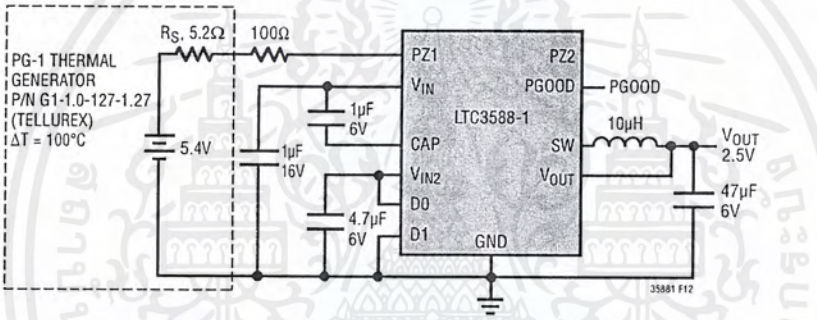


Figure 12. Thermoelectric Energy Harvester

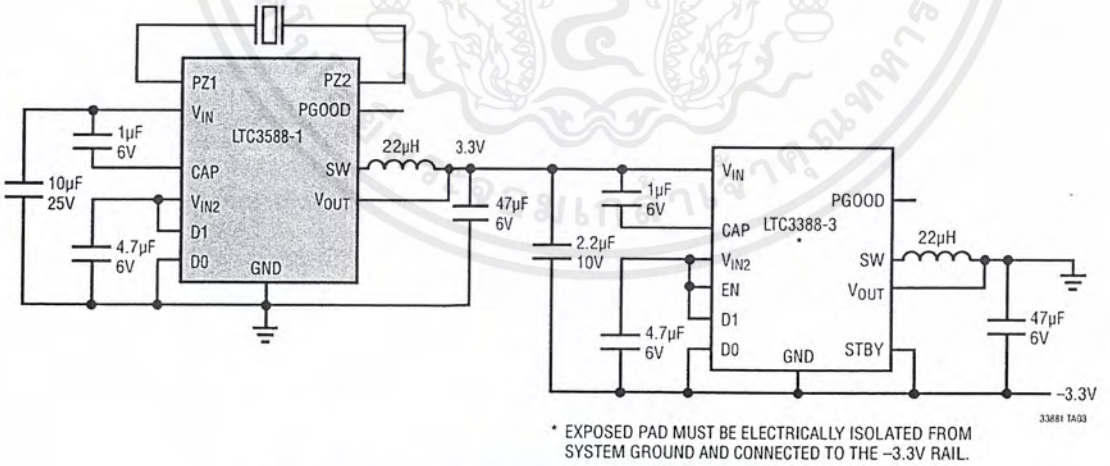
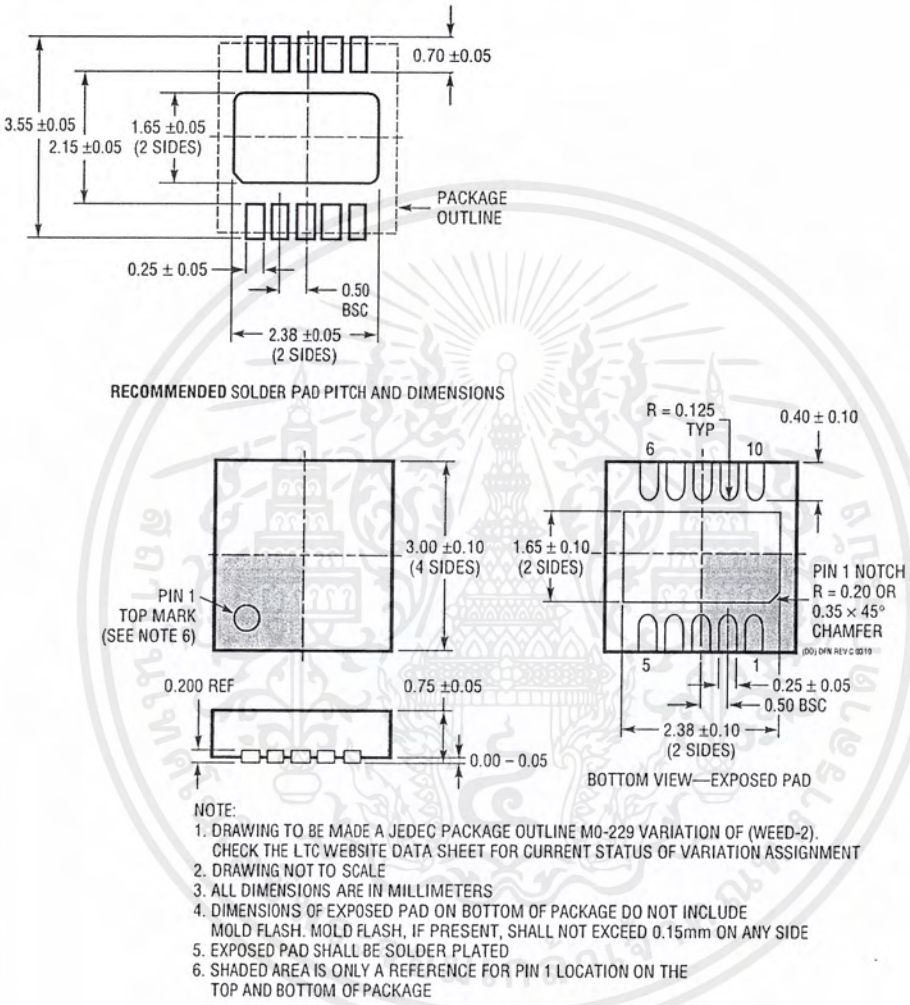


Figure 13. Piezoelectric Energy Harvester with ±3.3V Outputs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DESCRIPTION

DD Package
10-Lead Plastic DFN (3mm × 3mm)
(Reference LTC DWG # 05-08-1699 Rev C)

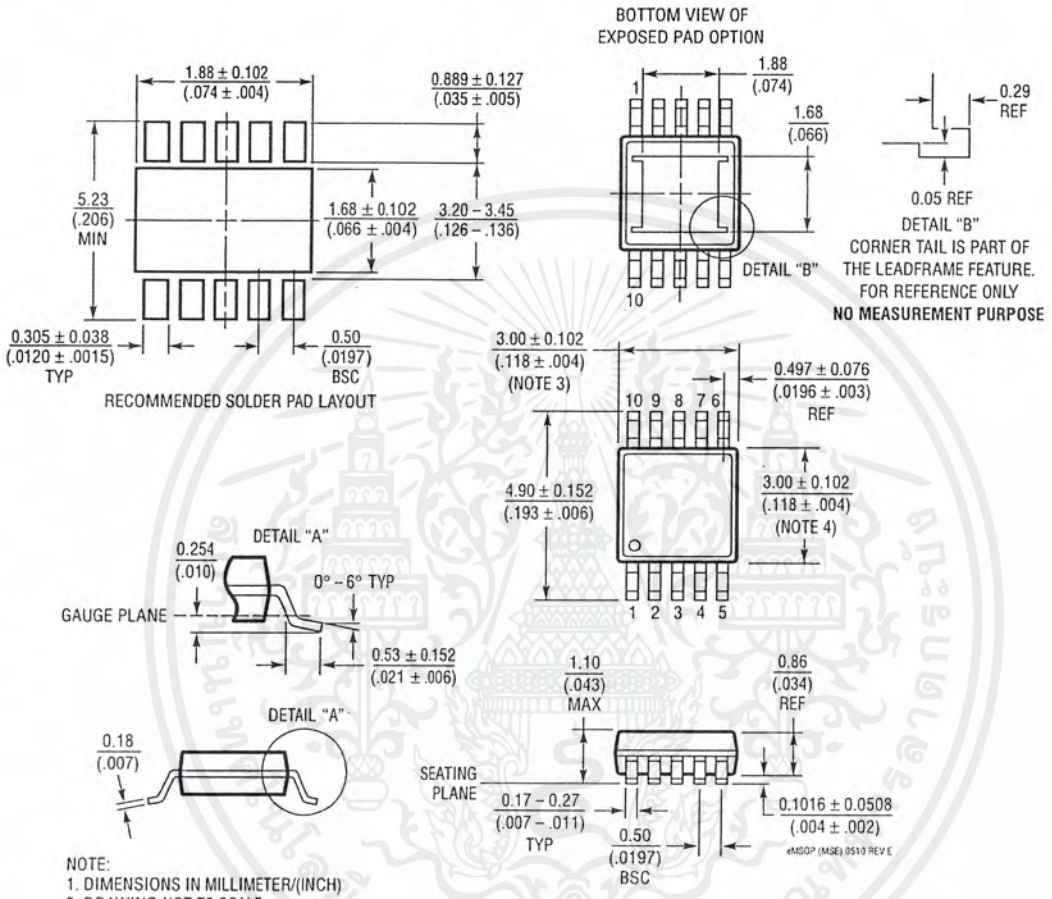


NOTE:
1. DRAWING TO BE MADE A JEDEC PACKAGE OUTLINE M0-229 VARIATION OF (WEED-2). CHECK THE LTC WEBSITE DATA SHEET FOR CURRENT STATUS OF VARIATION ASSIGNMENT
2. DRAWING NOT TO SCALE
3. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
4. DIMENSIONS OF EXPOSED PAD ON BOTTOM OF PACKAGE DO NOT INCLUDE MOLD FLASH. MOLD FLASH, IF PRESENT, SHALL NOT EXCEED 0.15mm ON ANY SIDE
5. EXPOSED PAD SHALL BE SOLDER PLATED
6. SHADED AREA IS ONLY A REFERENCE FOR PIN 1 LOCATION ON THE TOP AND BOTTOM OF PACKAGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DESCRIPTION

MSE Package
10-Lead Plastic eMSOP, Exposed Die Pad
(Reference LTC DWG # 05-08-1664 Rev E)



NOTE:
1. DIMENSIONS IN MILLIMETER/(INCH)
2. DRAWING NOT TO SCALE
3. DIMENSION DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH, PROTRUSIONS OR GATE BURRS. MOLD FLASH, PROTRUSIONS OR GATE BURRS SHALL NOT EXCEED 0.152mm (.006") PER SIDE
4. DIMENSION DOES NOT INCLUDE INTERLEAD FLASH OR PROTRUSIONS. INTERLEAD FLASH OR PROTRUSIONS SHALL NOT EXCEED 0.152mm (.006") PER SIDE
5. LEAD COPLANARITY (BOTTOM OF LEADS AFTER FORMING) SHALL BE 0.102mm (.004") MAX
6. EXPOSED PAD DIMENSION DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH. MOLD FLASH ON E-PAD SHALL NOT EXCEED 0.254mm (.010") PER SIDE.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REVISION HISTORY

REV	DATE	DESCRIPTION	PAGE NUMBER
A	9/10	Updated/added part number on the Piezoelectric Transducer on the front and back page applications, and Figures 5, 6 and 7	1, 12, 13, 14, 20
		Updated Temperature Range in Order Information	2
		Changed T_J = 25°C to T_A = 25°C and I_{LOAD} to I_{BUCK} in Electrical Characteristics	3
		Updated Notes 2, 3 and 4	4
		Updated G21 in Typical Performance Characteristics	6
		Added Figure 13	16
		Updated Related Parts	20

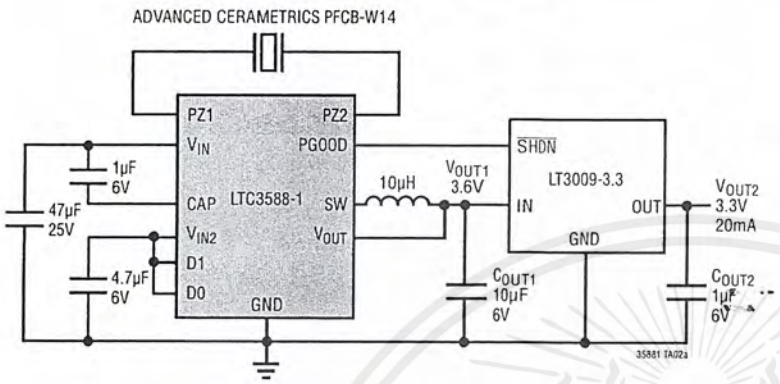
LINEAR TECHNOLOGY

Information furnished by Linear Technology Corporation is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed for its use. Linear Technology Corporation makes no representation that the interconnection of its circuits as described herein will not infringe on existing patent rights.

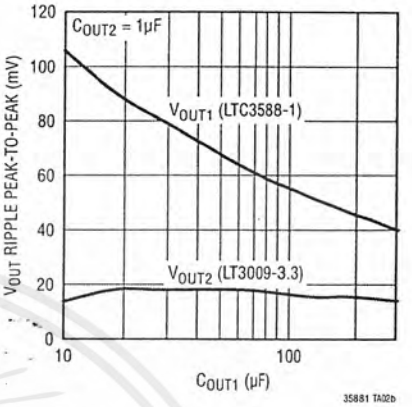
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL APPLICATION

Piezoelectric 3.3V Power Supply with LDO Post Regulator for Reduced Output Ripple



Peak-to-Peak Output Ripple vs C_{OUT1}



RELATED PARTS

PART NUMBER	DESCRIPTION	COMMENTS
LT1389	Nanopower Precision Shunt Voltage Reference	800nA Operating Current, 1.25V/2.5V/4.096V
LTC1540	Nanopower Comparator with Reference	0.3µA I_Q, Drives 0.01µF, Adjustable Hysteresis, 2V to 11V Input Range
LT3009	3µA I_Q, 20mA Low Dropout Linear Regulator	Low 3µA I_Q, 1.6V to 20V Range, 20mA Output Current
LTC3388-1/ LTC3388-3	20V High Efficiency Nanopower Step-Down Regulator	860nA I_Q in Sleep, 2.7V to 20V Input, V_{OUT}: 1.2V to 5.0V, Enable and Standby Pins
LTC3588-2	Piezoelectric Energy Harvesting Power Supply	<1µA I_Q in Regulation, UVLO Rising = 16V, UVLO Falling = 14V, V_{OUT} = 3.45V, 4.1V, 4.5V 5.0V
LT3652	Power Tracking 2A Battery Charger for Solar Power	MPPT for Solar, 4.95V to 32V, Up to 2A Charge Current
LT3970	40V, 350mA Step-Down Regulator with 2.5µA I_Q	Integrated Boost and Catch Diodes, 4.2V to 40V Operating Range
LT3971	38V, 1.2A, 2MHz Step-Down Regulator with 2.8µA I_Q	4.3V to 38V Operating Range, Low Ripple Burst Mode® Operation
LT3991	55V, 1.2A 2MHz Step-Down Regulator with 2.8µA I_Q	4.3V to 55V Operating Range, Low Ripple Burst Mode Operation
LTC3631	45V, 100mA, Synchronous Step-Down Regulator with 12µA I_Q	4.5V to 45V Operating Range, Overvoltage Lockout Up to 60V
LTC3642	45V, 50mA, Synchronous Step-Down Regulator with 12µA I_Q	4.5V to 45V Operating Range, Overvoltage Lockout Up to 60V

Linear Technology Corporation
1630 McCarthy Blvd., Milpitas, CA 95035-7417
(408) 432-1900 • FAX: (408) 434-0507 • www.linear.com
LT 0910 REV A • PRINTED IN USA
© LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION 2010
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19-0113; Rev. 2; 1/95

EVALUATION KIT MANUAL FOLLOWS DATA SHEET

MAXIM

3.3V/5V/Adjustable-Output, Step-Up DC-DC Converters

MAX756/MAX757

General Description

The MAX756/MAX757 are CMOS step-up DC-DC switching regulators for small, low input voltage or battery-powered systems. The MAX756 accepts a positive input voltage down to 0.7V and converts it to a higher pin-selectable output voltage of 3.3V or 5V. The MAX757 is an adjustable version that accepts an input voltage down to 0.7V and generates a higher adjustable output voltage in the range from 2.7V to 5.5V. Typical full-load efficiencies for the MAX756/MAX757 are greater than 87%.

The MAX756/MAX757 provide three improvements over previous devices. Physical size is reduced—the high switching frequencies (up to 0.5MHz) made possible by MOSFET power transistors allow for tiny (<5mm diameter) surface-mount magnetics. Efficiency is improved to 87% (10% better than with low-voltage regulators fabricated in bipolar technology). Supply current is reduced to 60µA by CMOS construction and a unique constant-off-time pulse-frequency modulation control scheme.

Applications

3.3V to 5V Step-Up Conversion
Palmtop Computers
Portable Data-Collection Equipment
Personal Data Communicators/Computers
Medical Instrumentation
2-Cell & 3-Cell Battery-Operated Equipment
Glucose Meters

Features

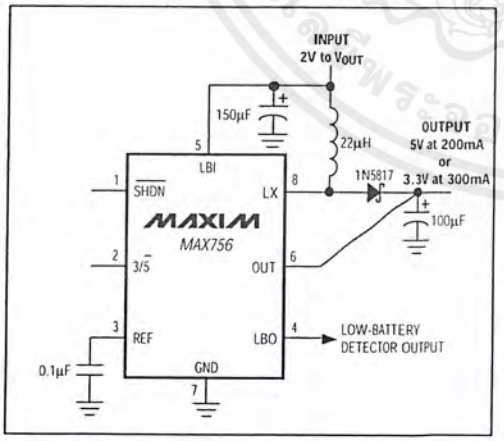
- Operates Down to 0.7V Input Supply Voltage
- 87% Efficiency at 200mA
- 60µA Quiescent Current
- 20µA Shutdown Mode with Active Reference and LBI Detector
- 500kHz Maximum Switching Frequency
- ±1.5% Reference Tolerance Over Temperature
- Low-Battery Detector (LBI/LBO)
- 8-Pin DIP and SO Packages

Ordering Information

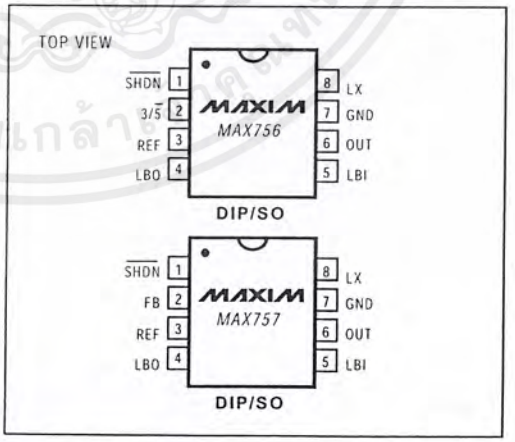
PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX756CPA	0°C to +70°C	8 Plastic DIP
MAX756CSA	0°C to +70°C	8 SO
MAX756C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX756EPA	-40°C to +85°C	8 Plastic DIP
MAX756ESA	-40°C to +85°C	8 SO
MAX757CPA	0°C to +70°C	8 Plastic DIP
MAX757CSA	0°C to +70°C	8 SO
MAX757C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX757EPA	-40°C to +85°C	8 Plastic DIP
MAX757ESA	-40°C to +85°C	8 SO

** Dice are tested at T_A = +25°C only.*

Typical Operating Circuit



Pin Configurations



Call toll free 1-800-998-8800 for free samples or literature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3V/5V/Adjustable-Output, Step-Up DC-DC Converters

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (OUT to GND) .....-0.3V, +7V
Switch Voltage (LX to GND) .....-0.3V, +7V
Auxiliary Pin Voltages ($\overline{SHDN}$, LBI, LBO, REF, $3/\overline{5}$, FB to GND) .....-0.3V, (V_{OUT} + 0.3V)
Reference Current (I_{REF}) 2.5mA
Continuous Power Dissipation (T_A = +70°C)
Plastic DIP (derate 9.09mW/°C above +70°C) 727mW
SO (derate 5.88mW/°C above +70°C) 471mW

Operating Temperature Ranges:
MAX75_C_ _ .....0°C to +70°C
MAX75_E_ _ .....-40°C to +85°C
Junction Temperature .....+150°C
Storage Temperature Range ..... -65°to +160°C
Lead Temperature (soldering, 10sec) ..... +300°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Circuits of Figure 1 and Typical Operating Circuit, V_{IN} = 2.5V, I_{LOAD} = 0mA, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Voltage	2V < V_{IN} < 3V	MAX756, $3/\overline{5}$ = 0V, 0mA < I_{LOAD} < 200mA	4.8	5.0	5.2	V
		MAX756, $3/\overline{5}$ = 3V, 0mA < I_{LOAD} < 300mA	3.17	3.30	3.43	
		MAX757, V_{OUT} = 5V, 0mA < I_{LOAD} < 200mA	4.8	5.0	5.2	
Minimum Start-Up Supply Voltage	I_{LOAD} = 10mA			1.1	1.8	V
Minimum Operating Supply Voltage (once started)	I_{LOAD} = 20mA			0.7		V
Quiescent Supply Current in 3.3V Mode (Note 1)	I_{LOAD} = 0mA, $3/\overline{5}$ = 3V, LBI = 1.25V, V_{OUT} = 3.47V, FB = 1.3V (MAX757 only)				60	µA
Battery Quiescent Current Measured at V_{IN} in Figure 1	Output set for 3.3V			60		µA
Shutdown Quiescent Current (Note 1)	$\overline{SHDN}$ = 0V, LBI = 1.25V, $3/\overline{5}$ = 3V, V_{OUT} = 3.47V, FB = 1.3V (MAX757 only)			20	40	µA
Reference Voltage	No REF load, C_{REF} = 0.1µF		1.23	1.25	1.27	V
Reference-Voltage Regulation	$3/\overline{5}$ = 3V, -20µA < REF load < 250µA, C_{REF} = 0.22µF			0.8	2.0	%
LBI Input Threshold	With falling edge		1.22	1.25	1.28	V
LBI Input Hysteresis				25		mV
LBO Output Voltage Low	I_{SINK} = 2mA				0.4	V
LBO Output Leakage Current	LBO = 5V				1	µA
$\overline{SHDN}$, $3/\overline{5}$ Input Voltage Low					0.4	V
$\overline{SHDN}$, $3/\overline{5}$ Input Voltage High			1.6			V
$\overline{SHDN}$, $3/\overline{5}$, FB, LBI Input Current	LBI = 1.25V, FB = 1.25V, $\overline{SHDN}$ = 0V or 3V, $3/\overline{5}$ = 0V or 3V				±100	nA
FB Voltage	MAX757		1.22	1.25	1.28	V
Output Voltage Range	MAX757, I_{LOAD} = 0mA (Note 2)		2.7		5.5	V

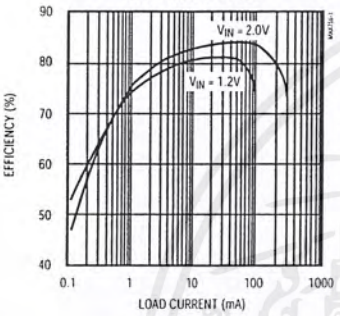
Note 1: Supply current from the 3.3V output is measured with an ammeter between the 3.3V output and OUT pin. This current correlates directly with actual battery supply current, but is reduced in value according to the step-up ratio and efficiency.
Note 2: Minimum value is production tested. Maximum value is guaranteed by design and is not production tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

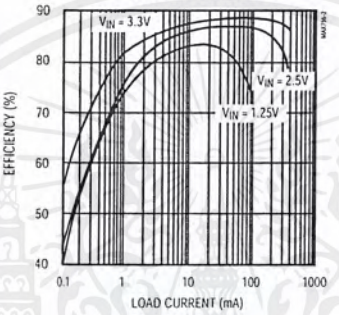
Typical Operating Characteristics

(Circuit of Figure 1, T_A = +25°C, unless otherwise noted.)

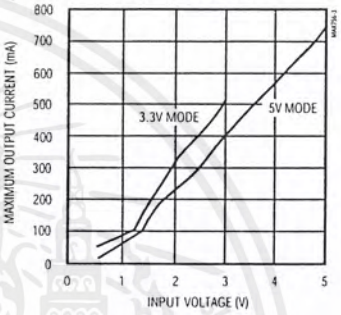
EFFICIENCY vs. LOAD CURRENT
3.3V OUTPUT MODE



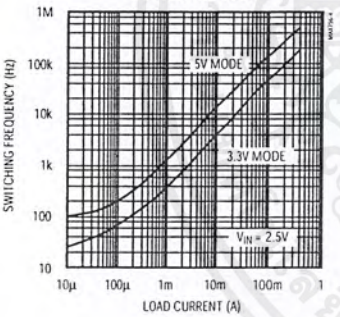
EFFICIENCY vs. LOAD CURRENT
5V OUTPUT MODE



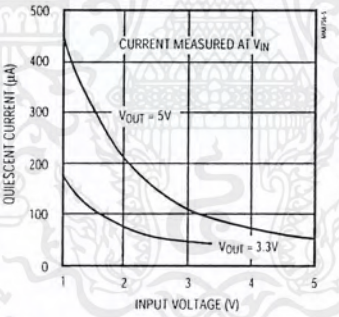
MAXIMUM OUTPUT CURRENT
vs. INPUT VOLTAGE



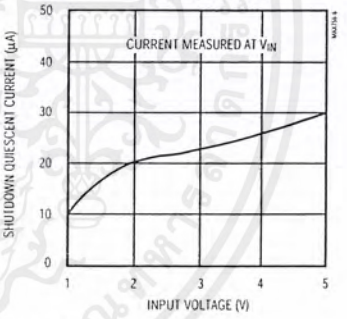
SWITCHING FREQUENCY
vs. LOAD CURRENT



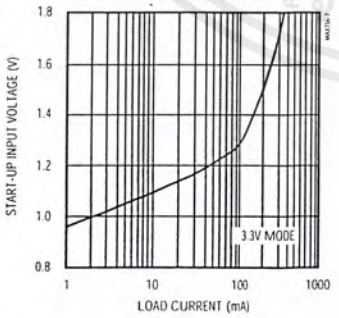
QUIESCENT CURRENT
vs. INPUT VOLTAGE



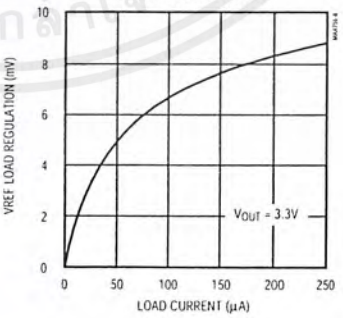
SHUTDOWN QUIESCENT CURRENT
vs. INPUT VOLTAGE



MINIMUM START-UP INPUT VOLTAGE
vs. LOAD CURRENT



REFERENCE VOLTAGE
LOAD REGULATION



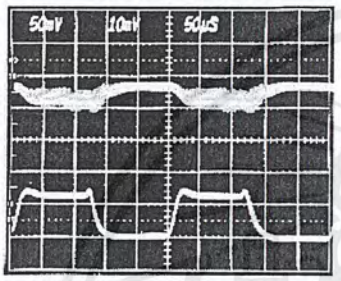
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3V/5V/Adjustable-Output, Step-Up DC-DC Converters

Typical Operating Characteristics (continued)

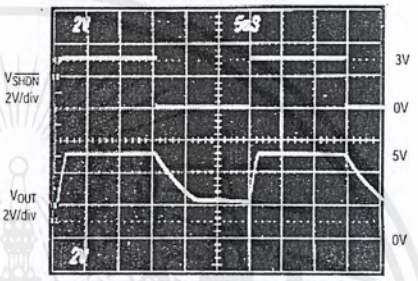
(Circuit of Figure 1, T_A = +25°C, unless otherwise noted.)

LOAD-TRANSIENT RESPONSE



V_{IN} = 2.5V
HORIZONTAL = 50µs/div
5V Mode

START-UP DELAY



V_{IN} = 2.5V
HORIZONTAL = 5ms/div
5V Mode

Pin Description

PIN MAX756	PIN MAX757	NAME	FUNCTION
1	1	$\overline{SHDN}$	Shutdown Input disables SMPS when low, but the voltage reference and low-battery comparator remain active.
2	–	3/$\overline{5}$	Selects the main output voltage setting: 5V when low, 3.3V when high.
–	2	FB	Feedback Input for adjustable output operation. Connect to an external voltage divider between OUT and GND.
3	3	REF	1.25V Reference Voltage Output. Bypass with 0.22µF to GND (0.1µF if there is no external reference load). Maximum load capability is 250µA source, 20µA sink.
4	4	LBO	Low-Battery Output. An open-drain N-channel MOSFET sinks current when the voltage at LBI drops below +1.25V.
5	5	LBI	Low-Battery Input. When the voltage on LBI drops below +1.25V, LBO sinks current. Connect to V_{IN} if not used.
6	6	OUT	Connect OUT to the regulator output. It provides bootstrapped power to both devices, and also senses the output voltage for the MAX756.
7	7	GND	Power Ground. Must be low impedance; solder directly to ground plane.
8	8	LX	1A, 0.5Ω N-Channel Power MOSFET Drain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Detailed Description

Operating Principle

The MAX756/MAX757 combine a switch-mode regulator with an N-channel MOSFET, precision voltage reference, and power-fail detector in a single monolithic device. The MOSFET is a "sense-FET" type for best efficiency, and has a very low gate threshold voltage to ensure start-up under low-battery voltage conditions (1.1V typ).

Pulse-Frequency Modulation Control Scheme

A unique minimum off time, current-limited, pulse-frequency modulation (PFM) control scheme is a key feature of the MAX756/MAX757. This PFM scheme combines the advantages of pulse-width modulation (PWM) (high output power and efficiency) with those of a traditional PFM pulse-skipper (ultra-low quiescent currents). There is no oscillator; at heavy loads, switching is accomplished through a constant peak-current limit in the switch, which allows the inductor current to self-oscillate between this peak limit and some lesser value. At light loads, switching frequency is governed by a pair of one-shots, which set a minimum off-time (1µs) and a maximum on-time (4µs). The switching frequency depends on the load and the input voltage, and can range as high as 500kHz.

The peak switch current of the internal MOSFET power switch is fixed at 1A ±0.2A. The switch's on resistance is typically 0.5Ω, resulting in a switch voltage drop (V_{SW}) of about 500mV under high output loads. The value of V_{SW} decreases with light current loads.

Conventional PWM converters generate constant-frequency switching noise, whereas this architecture produces variable-frequency switching noise. However, the noise does not exceed the switch current limit times the filter-capacitor equivalent series resistance (ESR), unlike conventional pulse-skippers.

Voltage Reference

The precision voltage reference is suitable for driving external loads such as an analog-to-digital converter. It has guaranteed 250µA source-current and 20µA sink-current capability. The reference is kept alive even in shutdown mode. If the reference drives an external load, bypass it with 0.22µF to GND. If the reference is unloaded, bypass it with at least 0.1µF.

Control-Logic Inputs

The control inputs (3/$\overline{5}$, $\overline{SHDN}$) are high-impedance MOS gates protected against ESD damage by normally reverse-biased clamp diodes. If these inputs are driven from signal sources that exceed the main supply voltage, the diode current should be limited by a series resistor (1MΩ suggested). The logic input threshold level is the same (approximately 1V) in both 3.3V and 5V modes. Do not leave the control inputs floating.

Design Procedure

Output Voltage Selection

The MAX756 output voltage can be selected to 3.3V or 5V under logic control, or it can be left in one mode or the other by tying 3/$\overline{5}$ to GND or OUT. Efficiency varies depending upon the battery and the load, and is typically better than 80% over a 2mA to 200mA load range. The device is internally bootstrapped, with power derived from the output voltage (via OUT). When the output is set at 5V instead of 3.3V, the higher internal supply voltage results in lower switch-transistor on resistance and slightly greater output power. Bootstrapping allows the battery voltage to sag to less than 1V once the system is started. Therefore, the battery voltage range is from $V_{OUT} + V_D$ to less than 1V (where V_D is the forward drop of the Schottky rectifier). If the battery voltage exceeds the programmed output voltage, the output will follow the battery voltage. In many systems this is acceptable; however, the output voltage must not be forced above 7V.

The output voltage of the MAX757 is set by two resistors, R1 and R2 (Figure 1), which form a voltage divider between the output and the FB pin. The output voltage is set by the equation:

$$V_{OUT} = (V_{REF})\,[(R2 + R1) / R2]$$

where $V_{REF} = 1.25V$.

To simplify resistor selection:

$$R1 = (R2)\,[(V_{OUT} / V_{REF}) - 1]$$

Since the input bias current at FB has a maximum value of 100nA, large values (10kΩ to 200kΩ) can be used for R1 and R2 with no significant loss of accuracy. For 1% error, the current through R1 should be at least 100 times FB's bias current.

Low-Battery Detection

The MAX756/MAX757 contain on-chip circuitry for low-battery detection. If the voltage at LBI falls below the regulator's internal reference voltage (1.25V), LBO (an open-drain output) sinks current to GND. The low-battery monitor's threshold is set by two resistors, R3 and R4 (Figure 1), which forms a voltage divider between the input voltage and the LBI pin. The threshold voltage is set by R3 and R4 using the following equation:

$$R3 = [(V_{IN} / V_{REF}) - 1]\,(R4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3V/5V/Adjustable-Output, Step-Up DC-DC Converters

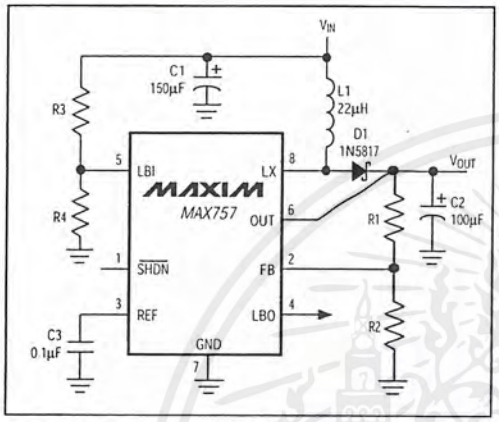


Figure 1. Standard Application Circuit

where V_{IN} is the desired threshold of the low-battery detector, R3 and R4 are the input divider resistors at LBI, and V_{REF} is the internal 1.25V reference.

Since the LBI current is less than 100nA, large resistor values (typically 10kΩ to 200kΩ) can be used for R3 and R4 to minimize loading of the input supply.

When the voltage at LBI is below the internal threshold, LBO sinks current to GND. A pull-up resistor of 10kΩ or more connected from LBO to V_{OUT} can be used when driving CMOS circuits. Any pull-up resistor connected to LBO should not be returned to a voltage source greater than V_{OUT}. When LBI is above the threshold, the LBO output is off. The low-battery comparator and reference voltage remain active when the MAX756/MAX757 is in shutdown mode.

If the low-battery comparator is not used, connect LBI to V_{IN} and leave LBO open.

Inductor Selection

The inductors should have a saturation (incremental) current rating equal to or greater than the peak switch-current limit, which is 1.2A worst-case. However, it's generally acceptable to bias the inductor into saturation by 20%, although this will reduce the efficiency.

The 22µH inductor shown in the typical applications circuit is sufficient for most MAX756/MAX757 application circuits. Higher input voltages increase the energy transferred with each cycle, due to the reduced input/output differential. Minimize excess ripple due to increased energy transfer by reducing the inductor value (10µH suggested).

The inductor's DC resistance significantly affects efficiency. For highest efficiency, limit L1's DC resistance to 0.03Ω or less. See Table 1 for a list of suggested inductor suppliers.

Table 1. Component Suppliers

PRODUCTION METHOD	INDUCTORS	CAPACITORS
Surface-Mount	Sumida CD54-220 (22µH) CoilCraft DT3316-223 Coiltronics CTX20-1	AVX TPS series Sprague 595D series
Miniature Through-Hole	Sumida RCH654-220	Sanyo OS-CON OS-CON series low-ESR organic semiconductor
Low-Cost Through-Hole	CoilCraft PCH-27-223	Nichicon PL series low-ESR electrolyic United Chemi-Con LXF series

AVX	USA:	(207) 282-5111, FAX (207) 283-1941 (800) 282-9975
CoilCraft	USA:	(708) 639-6400, FAX (708) 639-1969
Coiltronics	USA:	(407) 241-7876, FAX (407) 241-9339
Coilmer Semiconductor	USA:	(214) 233-1589
Motorola	USA:	(602) 244-3576, FAX (602) 244-4015
Nichicon	USA:	(708) 843-7500, FAX (708) 843-2798
	Japan:	+81-7-5231-8461, FAX (+81-) 7-5256-4158
Nihon	USA:	(805) 867-2555, FAX (805) 867-2556
	Japan:	+81-3-3494-7411, FAX (+81-) 3-3494-7414
Sanyo OS-CON	USA:	(619) 661-6835
	Japan:	+81-720-70-1005, FAX (+81-720-) 70-1174
Sprague	USA:	(603) 224-1961, FAX (603) 224-1430
Sumida	USA:	(708) 956-0666
	Japan:	+81-3-3607-5111, FAX (+81-3-) 3607-5428
United Chemi-Con	USA:	(708) 696-2000, FAX (708) 640-6311

Capacitor Selection

A 100µF, 10V surface-mount (SMT) tantalum capacitor typically provides 50mV output ripple when stepping up from 2V to 5V at 200mA. Smaller capacitors, down to 10µF, are acceptable for light loads or in applications that can tolerate higher output ripple.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rectifier Diode

The ESR of both bypass and filter capacitors affects efficiency. Best performance is obtained by using specialized low-ESR capacitors, or connecting two or more filter capacitors in parallel. The smallest low-ESR SMT tantalum capacitors currently available are Sprague 595D series, which are about half the size of competing products. Sanyo OS-CON organic semiconductor through-hole capacitors also exhibit very low ESR, and are especially useful for operation at cold temperatures. Table 1 lists suggested capacitor suppliers.

For optimum performance, a switching Schottky diode, such as the 1N5817, is recommended. 1N5817 equivalent diodes are also available in surface-mount packages from Collmer Semiconductor in Dallas, TX, phone (214) 233-1589. The part numbers are SE014 or SE024. For low output power applications, a pn junction switching diode, such as the 1N4148, will also work well, although efficiency will suffer due to the greater forward voltage drop of the pn junction diode.

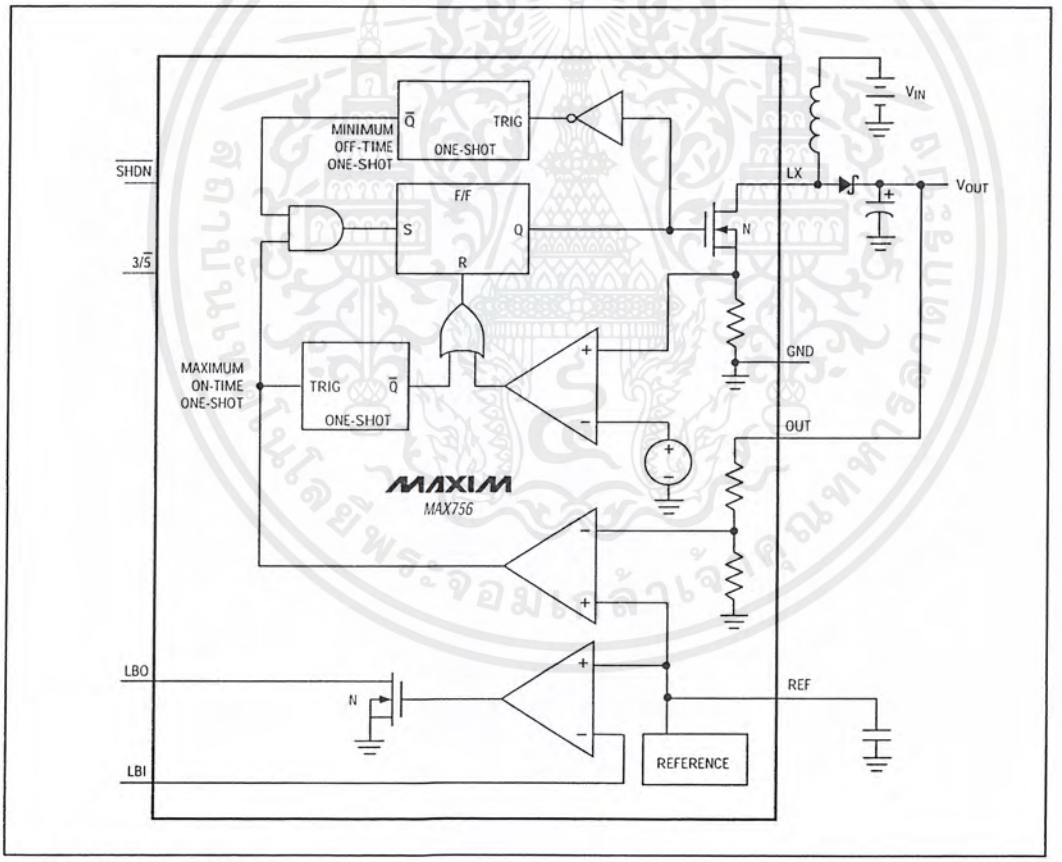


Figure 2. MAX756 Block Diagram

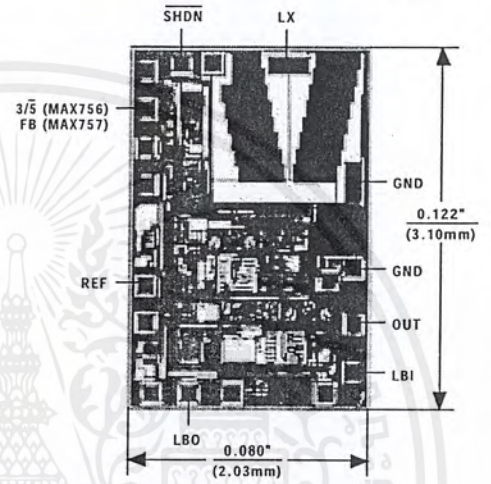
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3V/5V/Adjustable-Output, Step-Up DC-DC Converters

PC Layout and Grounding

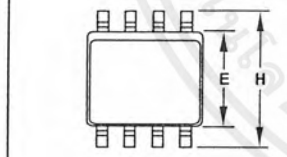
The MAX756/MAX757 high peak currents and high-frequency operation make PC layout important for minimizing ground bounce and noise. The distance between the MAX756/MAX757's GND pin and the ground leads of C1 and C2 in Figure 1 must be kept to less than 0.2" (5mm). All connections to the FB and LX pins should also be kept as short as possible. To obtain maximum output power and efficiency and minimum output ripple voltage, use a ground plane and solder the MAX756/MAX757 GND (pin 7) directly to the ground plane.

Chip Topography



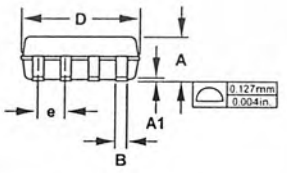
TRANSISTOR COUNT: 758
SUBSTRATE CONNECTED TO OUT

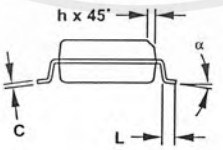
Package Information



DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.053	0.069	1.35	1.75
A1	0.004	0.010	0.10	0.25
B	0.014	0.019	0.35	0.49
C	0.007	0.010	0.19	0.25
D	0.189	0.197	4.80	5.00
E	0.150	0.157	3.80	4.00
e	0.050 BSC		1.27 BSC	
H	0.228	0.244	5.80	6.20
h	0.010	0.020	0.25	0.50
L	0.016	0.050	0.40	1.27
α	0°	8°	0°	8°

21-325A





8-PIN PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.

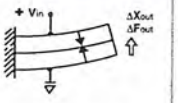
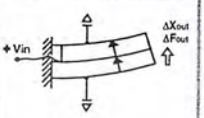
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIEZO SYSTEMS, INC.
65 Tower Office Park Woburn, MA 01801 • Tel: (781) 933-4850 • Fax: (781) 933-4743 • Web: www.piezo.com • E-mail: sales@piezo.com

2-PIEZO LAYER BENDING MOTORS

STANDARD - BRASS REINFORCED

PERFORMANCE: BRASS SHIM BENDING MOTORS (Cantilever Mount) — VALUES TO BE USED AS GUIDELINES

PART NUMBERS (BRASS REINFORCED BENDER)		WEIGHT (Grams)	STIFFNESS (N/m)	CAPACITANCE (nF) (Series Operation)	CAPACITANCE (nF) (Parallel Operation)	RATED VOLTAGE (Vp) (Series Operation)	RATED VOLTAGE (Vp) (Parallel Operation)	RESONANT FREQUENCY ① (Hz)	FREE DEFLECTION ① (µm)	BLOCKED FORCE ① (N)
 X-poled for series bending operation (2 wire).	 Y-poled for parallel bending operation (3 wire).									
.015" (.38mm) THICK										
T215-A4-103X	T215-A4-103Y	.30	$1.3x10^2$	5	20	± 120	± 60	270	± 300	± .04
T215-A4-203X	T215-A4-203Y	.60	$2.7x10^2$	10	40	± 120	± 60	270	± 300	± .08
T215-A4-303X	T215-A4-303Y	1.2	$5.3x10^2$	20	80	± 120	± 60	270	± 300	± .16
T215-A4-503X	T215-A4-503Y	6.0	$1.6x10^2$	100	400	± 120	± 60	67	± 1200	± .20
T215-H4-103X	T215-H4-103Y	.30	$1.3x10^2$	8	32	± 80	± 40	270	± 300	± .04
T215-H4-203X	T215-H4-203Y	.60	$2.7x10^2$	16	64	± 80	± 40	270	± 300	± .08
T215-H4-303X	T215-H4-303Y	1.2	$5.3x10^2$	32	128	± 80	± 40	270	± 300	± .16
T215-H4-503X	T215-H4-503Y	6.0	$1.6x10^2$	160	640	± 80	± 40	67	± 1200	± .20
.020" (.51mm) THICK										
T220-A4-103X	T220-A4-103Y	.40	$2.8x10^2$	3.5	14	± 180	± 90	350	± 250	± .07
T220-A4-203X	T220-A4-203Y	.80	$5.6x10^2$	7	29	± 180	± 90	350	± 250	± .14
T220-A4-303X	T220-A4-303Y	1.6	$1.1x10^3$	15	58	± 180	± 90	350	± 250	± .28
T220-A4-503X	T220-A4-503Y	8.0	$3.5x10^2$	73	292	± 180	± 90	88	± 1000	± .35
T220-H4-103X	T220-H4-103Y	.40	$2.8x10^2$	6	24	± 120	± 60	350	± 250	± .07
T220-H4-203X	T220-H4-203Y	.80	$5.6x10^2$	12	48	± 120	± 60	350	± 250	± .14
T220-H4-303X	T220-H4-303Y	1.6	$1.1x10^3$	24	96	± 120	± 60	350	± 250	± .28
T220-H4-503X	T220-H4-503Y	8.0	$3.5x10^2$	120	480	± 120	± 60	88	± 1000	± .35
.026" (.66mm) THICK										
T226-A4-103X	T226-A4-103Y	.51	$0.7x10^3$	2.5	10	± 250	± 125	440	± 175	± .13
T226-A4-203X	T226-A4-203Y	1.1	$1.5x10^3$	5	20	± 250	± 125	440	± 175	± .25
T226-A4-303X	T226-A4-303Y	2.1	$3.0x10^3$	10	40	± 250	± 125	440	± 175	± .50
T226-A4-503X	T226-A4-503Y	10.3	$0.9x10^3$	50	200	± 250	± 125	110	± 700	± .62
T226-H4-103X	T226-H4-103Y	.51	$0.7x10^3$	4	16	± 165	± 82	440	± 175	± .13
T226-H4-203X	T226-H4-203Y	1.1	$1.5x10^3$	8	32	± 165	± 82	440	± 175	± .25
T226-H4-303X	T226-H4-303Y	2.1	$3.0x10^3$	17	68	± 165	± 82	440	± 175	± .50
T226-H4-503X	T226-H4-503Y	10.3	$0.9x10^3$	85	340	± 165	± 82	110	± 700	± .62

① -103, -203, and -303 performance is based on a 1.0" bending length. -503 performance based on 2.0" bending length.
Suitable for cryogenic use. ROHS : Compliant. Piezo exempt.

PRICES: (See page 33)

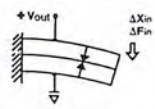
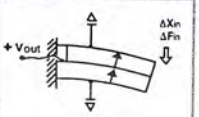
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIEZO SYSTEMS, INC.
65 Tower Office Park Woburn, MA 01801 • Tel: (781) 933-4850 • Fax: (781) 933-4743 • Web: www.piezo.com • E-mail: sales@piezo.com

2-PIEZO LAYER BENDING GENERATORS

STANDARD - BRASS REINFORCED

PERFORMANCE: BRASS SHIM BENDING GENERATORS (Cantilever mount) — VALUES TO BE USED AS GUIDELINES

PART NUMBERS (BRASS REINFORCED BENDER)		WEIGHT (grams)	STIFFNESS (N/m)	CAPACITANCE (nF) (Series Operation)	CAPACITANCE (nF) (Parallel Operation)	RATED TIP DEFLECTION ① (mm_{peak})	RATED FREQUENCY ① (Hz)	OPEN CIRCUIT VOLTAGE ① At rated deflection, parallel operation (V_{peak})	CLOSED CIRCUIT CURRENT ① Per sinusoidal cycle, at rated deflection, parallel operation. (μA_{peak} / Hz)	RATED OUTPUT POWER ① At rated deflection and frequency (mW_{rms})
 X-poled for series bending operation (2 wire).	 Y-poled for parallel bending operation (3 wire).									
.015" (.38mm) THICK										
T215-A4-103X	T215-A4-103Y	.30	1.3×10^2	5	20	± .51	250	± 12	± 2	0.8
T215-A4-203X	T215-A4-203Y	.60	2.7×10^2	10	40	± .51	250	± 12	± 4	1.5
T215-A4-303X	T215-A4-303Y	1.2	5.3×10^2	20	80	± .51	250	± 12	± 8	3.0
T215-A4-503X	T215-A4-503Y	6.0	1.6×10^2	100	400	± 2.1	63	± 12	± 42	4.0
T215-H4-103X	T215-H4-103Y	.30	1.3×10^2	8	32	± .51	250	± 10	± 3	0.9
T215-H4-203X	T215-H4-203Y	.60	2.7×10^2	16	64	± .51	250	± 10	± 7	2.2
T215-H4-303X	T215-H4-303Y	1.2	5.3×10^2	32	128	± .51	250	± 10	± 14	4.4
T215-H4-503X	T215-H4-503Y	6.0	1.6×10^2	160	640	± 2.1	63	± 10	± 69	5.4
.020" (.51mm) THICK										
T220-A4-103X	T220-A4-103Y	.40	2.8×10^2	3.5	14	± .38	320	± 16	± 1.5	1.0
T220-A4-203X	T220-A4-203Y	.80	5.6×10^2	7	29	± .38	320	± 16	± 3	1.9
T220-A4-303X	T220-A4-303Y	1.6	1.1×10^3	15	58	± .38	320	± 16	± 7	4.5
T220-A4-503X	T220-A4-503Y	8.0	3.5×10^2	73	292	± 1.57	80	± 16	± 34	5.4
T220-H4-103X	T220-H4-103Y	.40	2.8×10^2	6.	24	± .38	320	± 13	± 2.5	1.3
T220-H4-203X	T220-H4-203Y	.80	5.6×10^2	12	48	± .38	320	± 13	± 5	2.6
T220-H4-303X	T220-H4-303Y	1.6	1.1×10^3	24	96	± .38	320	± 13	± 11	5.7
T220-H4-503X	T220-H4-503Y	8.0	3.5×10^2	120	480	± 1.57	80	± 13	± 55	7.2
.026" (.66mm) THICK										
T226-A4-103X	T226-A4-103Y	.51	0.7×10^3	2.5	10	± .30	400	± 22	± 1	1.1
T226-A4-203X	T226-A4-203Y	1.1	1.5×10^3	5	20	± .30	400	± 22	± 2	2.2
T226-A4-303X	T226-A4-303Y	2.1	3.0×10^3	10	40	± .30	400	± 22	± 5	5.5
T226-A4-503X	T226-A4-503Y	10.3	0.9×10^3	50	200	± 1.22	100	± 22	± 24	6.6
T226-H4-103X	T226-H4-103Y	.51	0.7×10^3	4	16	± .30	400	± 18	± 2	1.8
T226-H4-203X	T226-H4-203Y	1.1	1.5×10^3	8	32	± .30	400	± 18	± 4	3.6
T226-H4-303X	T226-H4-303Y	2.1	3.0×10^3	17	68	± .30	400	± 18	± 8	7.2
T226-H4-503X	T226-H4-503Y	10.3	0.9×10^3	85	340	± 1.22	100	± 18	± 39	8.8

① -103, -203, and -303 performance is based on a 1.0" bending length. -503 performance based on 2.0" bending length.
Suitable for cryogenic use. ROHS: Compliant. Piezo exempt.

PRICES: (See page 33)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

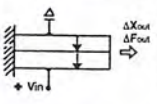
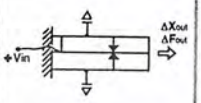
PIEZO SYSTEMS, INC.
65 Tower Office Park Woburn, MA 01801 • Tel: (781) 933-4850 • Fax: (781) 933-4743 • Web: www.piezo.com • E-mail: sales@piezo.com

2-PIEZO LAYER EXTENSION MOTORS

STANDARD - BRASS REINFORCED

PERFORMANCE: BRASS SHIM EXTENSION MOTORS

VALUES TO BE USED AS GUIDELINES

PART NUMBERS (BRASS REINFORCED EXTENDER)		WEIGHT (Grams)	STIFFNESS (N/m)	CAPACITANCE (nF) (Series Operation)	CAPACITANCE (nF) (Parallel Operation)	RATED VOLTAGE (Vp) (Series Operation)	RATED VOLTAGE (Vp) (Parallel Operation)	RESONANT FREQUENCY ① (Hz)	FREE DEFLECTION ① (µm)	BLOCKED FORCE ① (N)
 Y-poled for series extension operation (2 wire).	 X-poled for parallel extension operation (3 wire).									
.015" (.38mm) THICK										
T215-A4-103Y	T215-A4-103X	.30	$2x10^6$	5	20	± 120	± 60	30,000	± 2.8	± 5
T215-A4-203Y	T215-A4-203X	.60	$3x10^6$	10	40	± 120	± 60	30,000	± 2.8	± 9
T215-A4-303Y	T215-A4-303X	1.2	$6x10^6$	20	80	± 120	± 60	30,000	± 2.8	± 19
T215-A4-503Y	T215-A4-503X	6.0	$8x10^6$	100	400	± 120	± 60	15,000	± 5.7	± 47
T215-H4-103Y	T215-H4-103X	.30	$2x10^6$	8	32	± 80	± 40	30,000	± 2.8	± 5
T215-H4-203Y	T215-H4-203X	.60	$3x10^6$	16	64	± 80	± 40	30,000	± 2.8	± 9
T215-H4-303Y	T215-H4-303X	1.2	$6x10^6$	32	128	± 80	± 40	30,000	± 2.8	± 19
T215-H4-503Y	T215-H4-503X	6.0	$8x10^6$	160	640	± 80	± 40	15,000	± 5.7	± 47
.020" (.51mm) THICK										
T220-A4-103Y	T220-A4-103X	.40	$2x10^6$	3.5	14	± 180	± 90	29,500	± 3.2	± 7
T220-A4-203Y	T220-A4-203X	.80	$4x10^6$	7	29	± 180	± 90	29,500	± 3.2	± 14
T220-A4-303Y	T220-A4-303X	1.6	$9x10^6$	15	58	± 180	± 90	29,500	± 3.2	± 29
T220-A4-503Y	T220-A4-503X	8.0	$11x10^6$	73	292	± 180	± 90	14,750	± 6.4	± 72
T220-H4-103Y	T220-H4-103X	.40	$2x10^6$	6.0	24	± 120	± 60	29,500	± 3.2	± 7
T220-H4-203Y	T220-H4-203X	.80	$4x10^6$	12	48	± 120	± 60	29,500	± 3.2	± 14
T220-H4-303Y	T220-H4-303X	1.6	$9x10^6$	24	96	± 120	± 60	29,500	± 3.2	± 29
T220-H4-503Y	T220-H4-503X	8.0	$11x10^6$	120	480	± 120	± 60	14,750	± 6.4	± 72
.026" (.66mm) THICK										
T226-A4-103Y	T226-A4-103X	.51	$3x10^6$	2.5	10	± 260	± 130	29,000	± 3.4	± 10
T226-A4-203Y	T226-A4-203X	1.1	$6x10^6$	5	20	± 260	± 130	29,000	± 3.4	± 20
T226-A4-303Y	T226-A4-303X	2.1	$12x10^6$	10	40	± 260	± 130	29,000	± 3.4	± 40
T226-A4-503Y	T226-A4-503X	10.3	$15x10^6$	50	200	± 260	± 130	14,500	± 6.8	± 100
T226-H4-103Y	T226-H4-103X	.51	$3x10^6$	4	16	± 170	± 85	29,000	± 3.4	± 10
T226-H4-203Y	T226-H4-203X	1.1	$6x10^6$	8	32	± 170	± 85	29,000	± 3.4	± 20
T226-H4-303Y	T226-H4-303X	2.1	$12x10^6$	17	68	± 170	± 85	29,000	± 3.4	± 40
T226-H4-503Y	T226-H4-503X	10.3	$15x10^6$	85	340	± 170	± 85	14,500	± 6.8	± 100

① -103, -203, and -303 performance is based on a 1.0" extension length. -503 performance based on 2.0" extension length. Suitable for cryogenic use. ROHS: Compliant. Piezo exempt.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIEZO SYSTEMS, INC.
65 Tower Office Park Woburn, MA 01801 • Tel: (781) 933-4850 • Fax: (781) 933-4743 • Web: www.piezo.com • E-mail: sales@piezo.com

2-PIEZO LAYER EXTENSION GENERATORS

STANDARD - BRASS REINFORCED

PERFORMANCE: BRASS SHIM EXTENSION GENERATORS

VALUES TO BE USED AS GUIDELINES

PART NUMBERS (BRASS REINFORCED EXTENDER)		WEIGHT (grams)	STIFFNESS (N/m)	CAPACITANCE (nF) (Series Operation)	CAPACITANCE (nF) (Parallel Operation)	RATED TIP DEFLECTION ① (μm_{peak})	RATED FREQUENCY ① At rated tip deflection (Hz)	OPEN CIRCUIT VOLTAGE ① At rated deflection, parallel operation (V_{peak})	CLOSED CIRCUIT CURRENT ① Per sinusoidal cycle, at rated deflection, parallel operation. (μA_{peak} / Hz)	RATED OUTPUT POWER ① At rated deflection and frequency, parallel operation. (mW_{rms})
+Vout, ΔXin, ΔFin	+Vout, ΔXin, ΔFin, +Vout									
Y-poled for series extension operation (2 wire).	X-poled for parallel extension operation (3 wire).									
.015" (.38mm) THICK										
T215-A4-103Y	T215-A4-103X	.30	$2x10^6$	5	20	± 13	1000	± 57	± 5	36
T215-A4-203Y	T215-A4-203X	.60	$3x10^6$	10	40	± 13	1000	± 57	± 11	78
T215-A4-303Y	T215-A4-303X	1.2	$6x10^6$	20	80	± 13	1000	± 57	± 21	150
T215-A4-503Y	T215-A4-503X	6.0	$8x10^6$	100	400	± 25	500	± 57	± 110	392
T215-H4-103Y	T215-H4-103X	.30	$2x10^6$	8	32	± 13	1000	± 47	± 8	47
T215-H4-203Y	T215-H4-203X	.60	$3x10^6$	16	64	± 13	1000	± 47	± 17	100
T215-H4-303Y	T215-H4-303X	1.2	$6x10^6$	32	128	± 13	1000	± 47	± 33	194
T215-H4-503Y	T215-H4-503X	6.0	$8x10^6$	160	640	± 25	500	± 47	± 172	510
.020" (.51mm) THICK										
T220-A4-103Y	T220-A4-103X	.40	$2x10^6$	3.5	14	± 13	1500	± 82	± 5	77
T220-A4-203Y	T220-A4-203X	.80	$4x10^6$	7	29	± 13	1500	± 82	± 11	170
T220-A4-303Y	T220-A4-303X	1.6	$9x10^6$	15	58	± 13	1500	± 82	± 21	320
T220-A4-503Y	T220-A4-503X	8.0	$11x10^6$	73	292	± 25	750	± 82	± 110	850
T220-H4-103Y	T220-H4-103X	.40	$2x10^6$	6	24	± 13	1500	± 67	± 8	100
T220-H4-203Y	T220-H4-203X	.80	$4x10^6$	12	48	± 13	1500	± 67	± 17	210
T220-H4-303Y	T220-H4-303X	1.6	$9x10^6$	24	96	± 13	1500	± 67	± 33	410
T220-H4-503Y	T220-H4-503X	8.0	$11x10^6$	120	480	± 25	750	± 67	± 172	1,100
.026" (.66mm) THICK										
T226-A4-103Y	T226-A4-103X	.51	$3x10^6$	2.5	10	± 13	2000	± 116	± 5	150
T226-A4-203Y	T226-A4-203X	1.1	$6x10^6$	5	20	± 13	2000	± 116	± 11	320
T226-A4-303Y	T226-A4-303X	2.1	$12x10^6$	10	40	± 13	2000	± 116	± 21	610
T226-A4-503Y	T226-A4-503X	10.3	$15x10^6$	50	200	± 25	1000	± 116	± 110	1,600
T226-H4-103Y	T226-H4-103X	.51	$3x10^6$	4	16	± 13	2000	± 95	± 8	190
T226-H4-203Y	T226-H4-203X	1.1	$6x10^6$	8	32	± 13	2000	± 95	± 17	400
T226-H4-303Y	T226-H4-303X	2.1	$12x10^6$	17	68	± 13	2000	± 95	± 33	780
T226-H4-503Y	T226-H4-503X	10.3	$15x10^6$	85	340	± 25	1000	± 95	± 172	2,000

① -103, -203, and -303 performance is based on a 1.0" extension length. -503 performance based on 2.0" extension length. Suitable for cryogenic use. ROHS: Compliant. Piezo exempt.

RICES: (See page 33)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข โปสเตอร์

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Department of Instrumentation and Control Engineering
Multi-Scale Electromechanical Systems Laboratory

Energy Harvesting From Railway Track Vibration

D. Isarakorn, S. Nundrakwang, A. Yalom, A. Wattanacharoensup, I. Arwaephooteh

ABSTRACT This project present an energy harvesting from railway track vibration to the energy of vibration into electrical power generation. This power can be used as a source of energy that can be used with electronic devices and sensors on railway tracks. Which is responsible for the preparation of this thesis is the energy storage device.
The process of implementation start by measuring the frequency of the railway tracks when the train passed on tracks and not train passed. For how to use any kind piezo can convert mechanical energy into electrical energy best. The design of the amplifier and energy storage circuit to bring energy to further use.

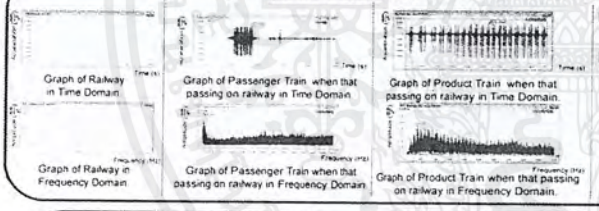
Harvesting Frequency From Railway Track Vibration By Accelerometer

The first that collect data from railway 2 types are
- Frequency of Railway
- Frequency of Train when that passing on railway then select data in Time domain and Frequency domain to analyze and choose the range of frequency to design your Piezoelectric to generate energy from vibration in Program Mechanical APDL (ANSYS)14.0.

Choose Piezoelectric from ANSYS

PSI P N: T220-A4-203X
Piezoceramic: PSI-5A4E
Size : 0.51 x 6.4 x 1.25 mm^3
Polarization: X-pole
2 Layer Brass Reinforced

Graph from Accelerometer in Time Domain and Frequency Domain.

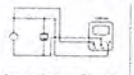


Blue Graph X-axis is Time(s).
Y-axis is Acceleration (mm/s^2).
Red Graph X-axis is Frequency (Hz).
Y-axis is Amplitude (mm/s^2).

Acceleration		Frequency
- Railway	≈ 150 mm/s^2	≈ 50 – 90 Hz
- Passenger Train	≈ 23407 mm/s^2	≈ 216 Hz
- Product Train	≈ 20244 mm/s^2	≈ 257 Hz

Conclusion Frequency Vibration of train ≈ 200 – 300 Hz

Resonance Frequency & Bridge Rectifier



Impedance Circuit

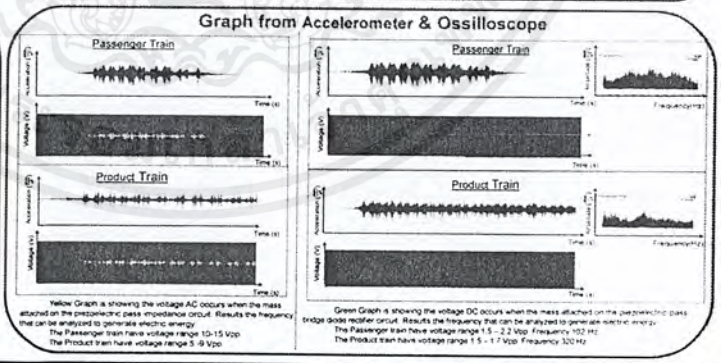
Graph of Resonance Frequency are 105 Hz and 229 Hz.

Bridge diode rectifier
Diode : BAT46
Capacitance : 1µF
Mass : 10 gram

LTC 3588-1
Input Voltage : 2.7 V to 20 V
Output Voltage : 1.8V 2.5V 3.3V 3.6V

MAX757
Input Voltage : 0.7 V to 5.5 V
Output Voltage : 2.7 V to 5.5 V

Graph from Accelerometer & Ossilloscope



Yellow Graph is showing the voltage AC occurs when the mass attached on the piezoelectric pass impedance circuit. Results the frequency that can be analyzed to generate electric energy
The Passenger train have voltage range 10-15 Vpp
The Product train have voltage range 5 -9 Vpp

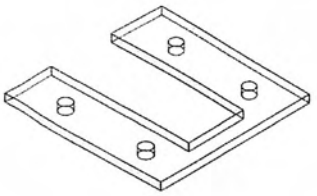
Green Graph is showing the voltage DC occurs when the mass attached on the piezoelectric pass bridge diode rectifier circuit. Results the frequency that can be analyzed to generate electric energy
The Passenger train have voltage range 1.5 – 2.2 Vpp Frequency 102 Hz
The Product train have voltage range 1.5 – 1.7 Vpp Frequency 320 Hz

CONCLUSION :The results of all railway track vibration can be converted to electric energy by piezoelectric. The impedance circuit can be converted electric energy 10 – 15 Vpp AC. So when it pass the bridge diode rectifier it can generate 1.5 – 2.2 Vpp DC. But this voltage can't keep in energy harvesting circuit LTC 3588-1 because input minimum voltage 2.7 V. Thus amplifier by MAX757 to 2.7V. But it can't amplifier because the capacitance 1µF it's small to collect voltage to amplifier to 2.7V. Then we are unable to store energy in the energy storage circuit.
Suggestion : Choose a place to select data distance from station because the railway is due to the speed of generate energy.

Department of Instrumentation and Control Engineering
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand

Dr. Don Isarakorn
kidon@kmitl.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 ตัวแคมป์ยึดเพียโซอิเล็กทริค จำนวน 1 ชิ้น

3.3.2 **ตัวฐานสำหรับวางเพียโซอิเล็กทริคและแคมป์ยึด** มีรายละเอียด ดังนี้

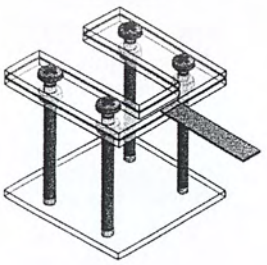
วัสดุ: แผ่นอะคลิลิกใส

ขนาด : 40 mm x 40 mm x 2 mm

ลักษณะ : รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีรูขนาด 3 mm 4 รูเพื่อใช้สำหรับยึดน๊อตขนาด 3M

จำนวน : 1 ชิ้น

รูปที่ 3.29 ฐานวางตัวยึดเพียโซอิเล็กทริค จำนวน 1 ชิ้น



รูปที่ 3.30 ตัวแคมป์เมื่อยึดกับเพียโซอิเล็กทริค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้