

Power Optimization and Watchdog Integration

Introduction to Embedded System





Watchdog

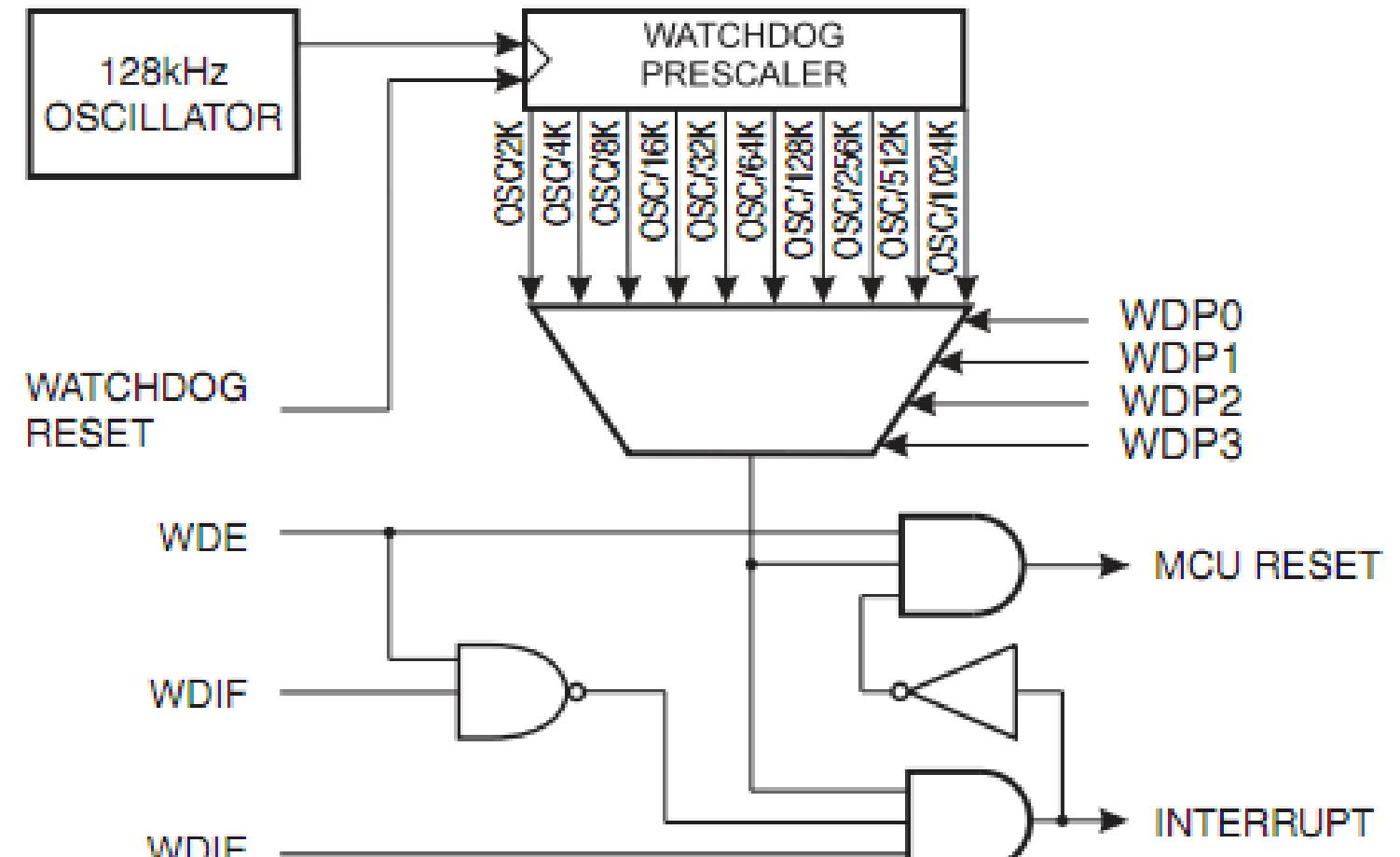
Introduction to Embedded System



Watchdog Contents

- Introduction to Watchdog
- WWDG (Window Watchdog)
- IWDG (Independent Watchdog)
- Watchdog in ESP32
- Arduino IDE for Watchdog ESP32
- Watchdog References

Watchdog



Watchdog

จะทำอย่างไรถ้า Firmware ที่พัฒนาค้างระหว่างการใช้งาน?

Hard Reset?

และถ้าเกิดในขณะที่ปล่อยให้ทำงานเองล่ะ?



Watchdog Work?

- ลองนึกภาพ
- มีสุนัขที่ต้องกินเป็นครั้งคราวเพื่อไม่ให้เริ่มเห่า เจ้าของสุนัขต้องป้อนอาหาร ตามความถี่ที่แน่นอนเพื่อให้สุนัขอยู่ในสภาพปกติ
- สุนัขเฝ้าบ้านจะช่วยตรวจสอบความผิดปกติ
- ว่าสัญญาณทุกอย่างเรียบร้อยดี
- หากเวลาผ่านไปแล้วไม่ได้รับสัญญาณจะรีสตาร์ท MCU



Watchdog

จำเป็นมากที่ Firmware Engineer ต้องคำนึงถึงความสามารถของ Watchdog ที่ตัวอุปกรณ์สามารถทำได้ Watchdog มีหน้าที่ในการดักจับว่า Firmware ยังทำงานอยู่? (ยังทำงานอยู่/ค้าง/ติดลูป/ติดบัค อยู่ที่ไหน ใน Firmware)

Watchdog ซึ่งเป็นส่วนของบ้านที่คอยดูว่าโปรแกรมของคุณบ ขัดข้องหรือไม่ และหากเกิดเหตุการณ์นี้ขึ้น จะพยายามรีสตาร์ทโดยอัตโนมัติ

Figure 1: A typical watchdog setup



Kicking the dog (Watchdog Refresh)

- กระบวนการรีสตาร์ทตัวนับตัวจับเวลาของสุนัขเฝ้าบ้านบางครั้งเรียกว่า "kicking the dog" การเปรียบเปรยภาพที่หมายความคือการที่ชายคนหนึ่งถูกสุนัขดูร้ายทำร้าย ถ้าเขาเตะสุนัขมันจะกัดเขาไม่ได้เลย แต่เขาต้องเตะสุนัขเป็นระยะเพื่อหลีกเลี่ยงการกัดในทำนองเดียวกันซอฟต์แวร์ต้องรีสตาร์ทตัวจับเวลาสุนัขเฝ้าบ้านตามอัตราปกติหรือเสียงต่อการถูกรีสตาร์ท



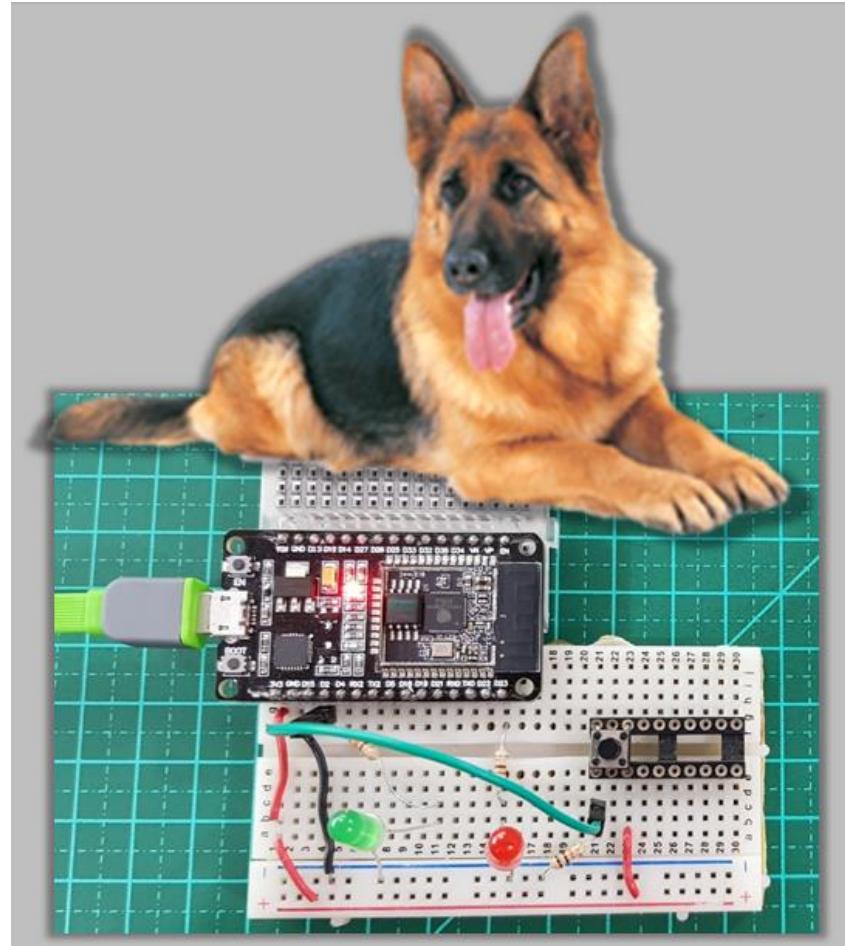
Watchdog (pseudo code)

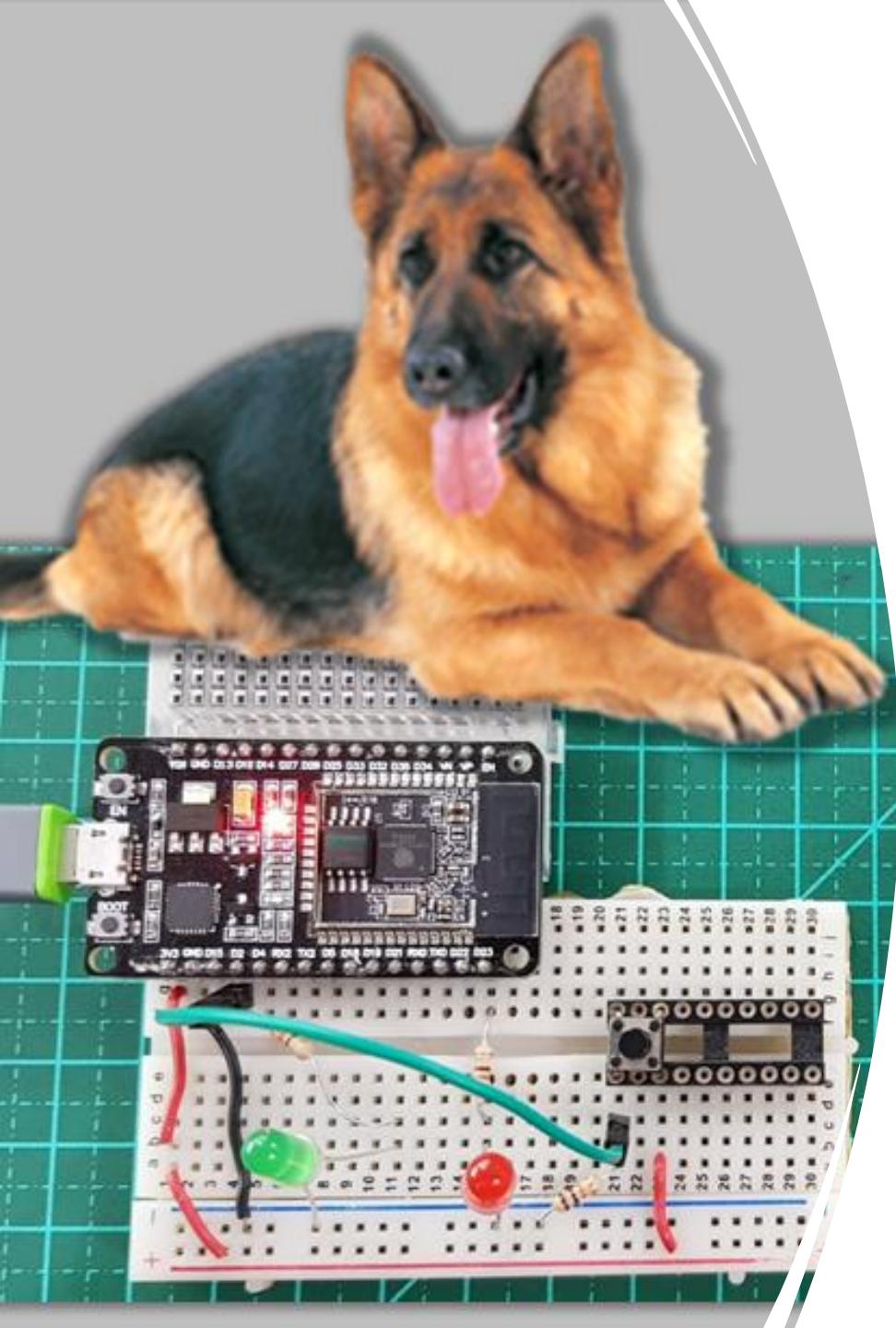
```
setTimerWatchdog(&timer1, 10000000); // 10Sec
void watchdog_refresh(void);

main(void)
{
    hwinit();

    for (;;)
    {
        watchdog_refresh(); // Kickking the dog
        read_sensors();
        control_motor();
        display_status();
    }
}

void watchdog_refresh(void)
{
    refreshTimerWatchdog(&timer1, 0);
}
```





Watchdog

Watchdog มี 2 แบบ

1. WWDG (Window watchdog)

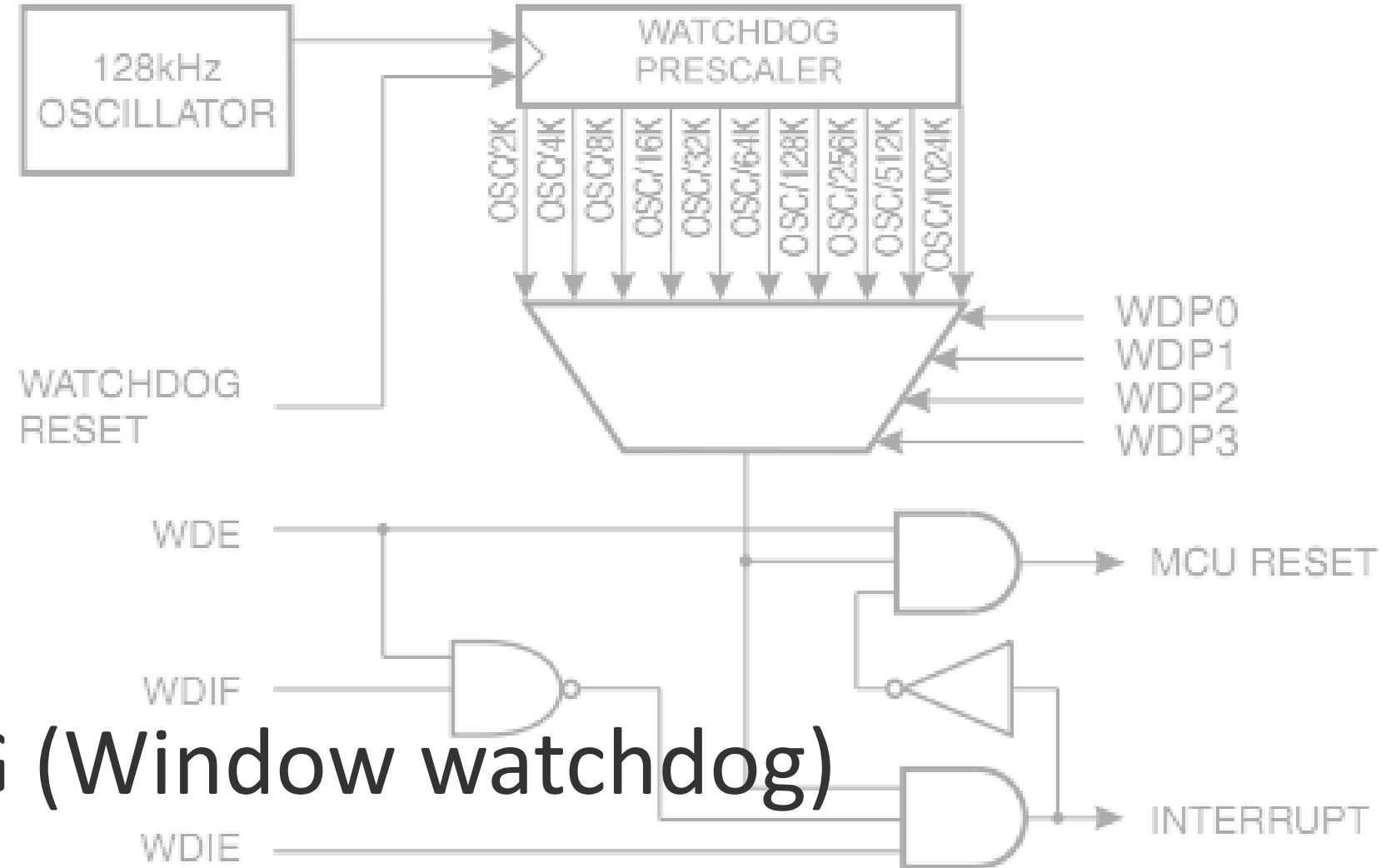
Program running down counter

2. IWDG (Independent watchdog)

Free running down counter

using RC Oscillator (Work in Standby/Stop Mode!!!)

- *** Watchdog ถูกใช้ร่วมกับ 90% ของการพัฒนา Firmware ที่ถูกนำเอาไป
- ใช้งานจริงๆ ใน Product ต่างๆ



WWDG (Window watchdog)

WWDG (Window watchdog)

Typical Operation

State inside IC

Closed Window (CW)

Open Window (OW)

- (1) The signal cycle from the MCU is shorter than usual.**



Receiving a signal during the CW period, the window WDT regards it as a runaway and outputs a reset signal to the MCU.

- (2) The signal cycle from the MCU is normal.**



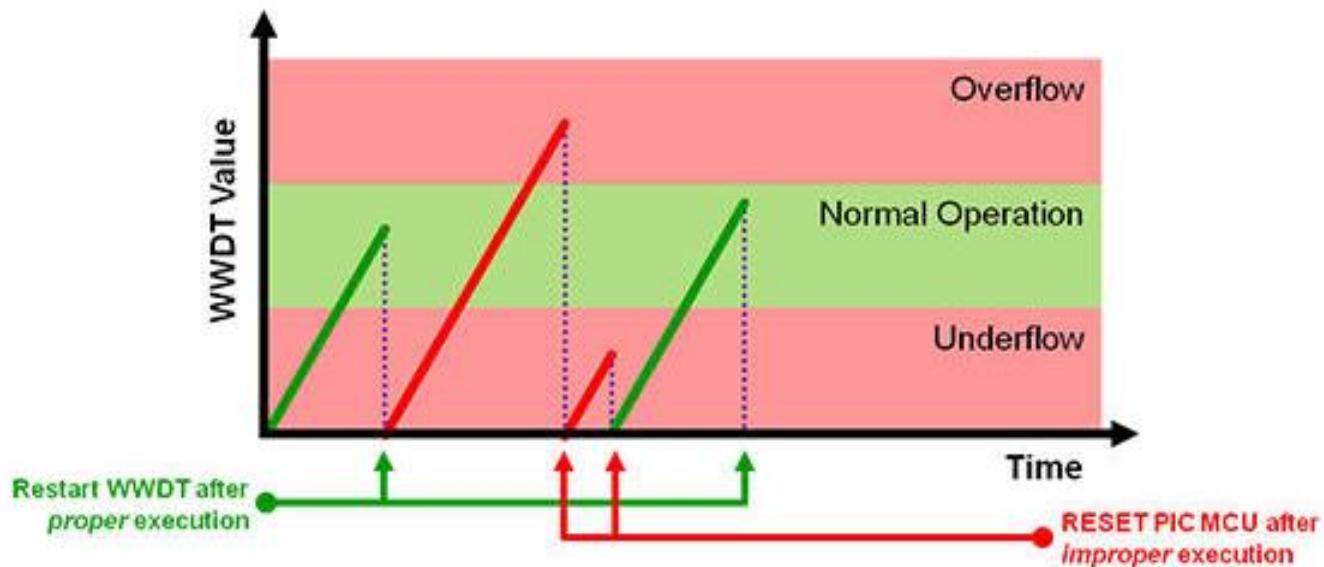
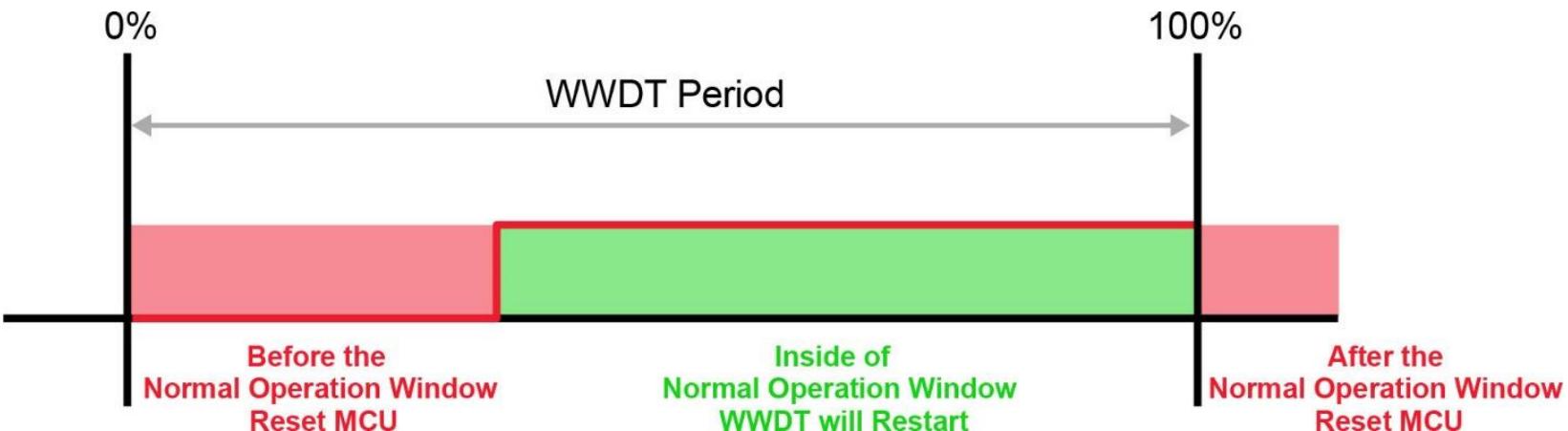
MCU signals during the OW period is regarded as the trigger to start the next CW period.

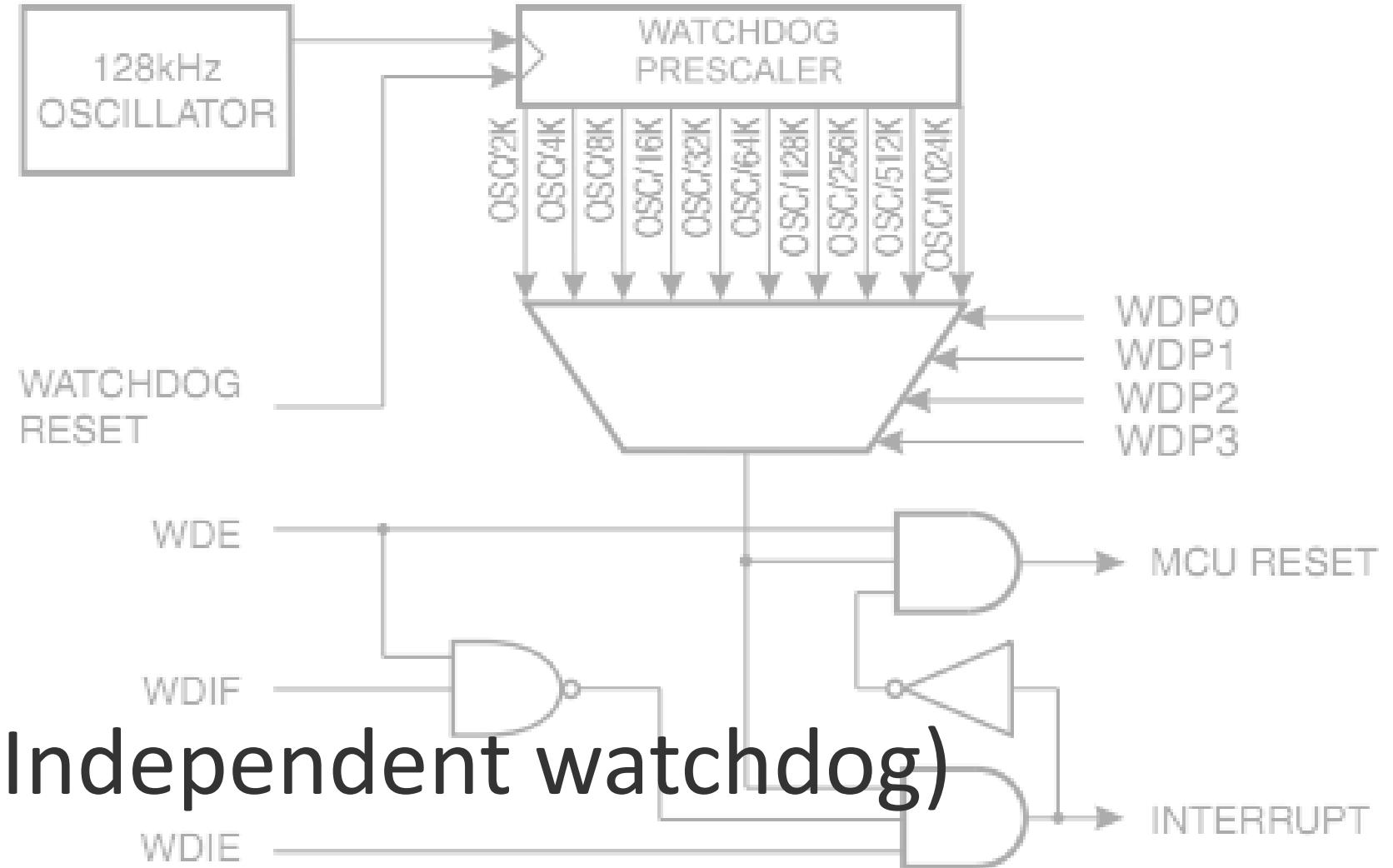
- (3) The signal cycle from the MCU is longer than usual.**



The window WDT regards as a runaway that it has not received any MCU signal during the OW period. The window WDT outputs a reset signal to the MCU as soon as the OW period comes to an end.

WWDG (Window watchdog)



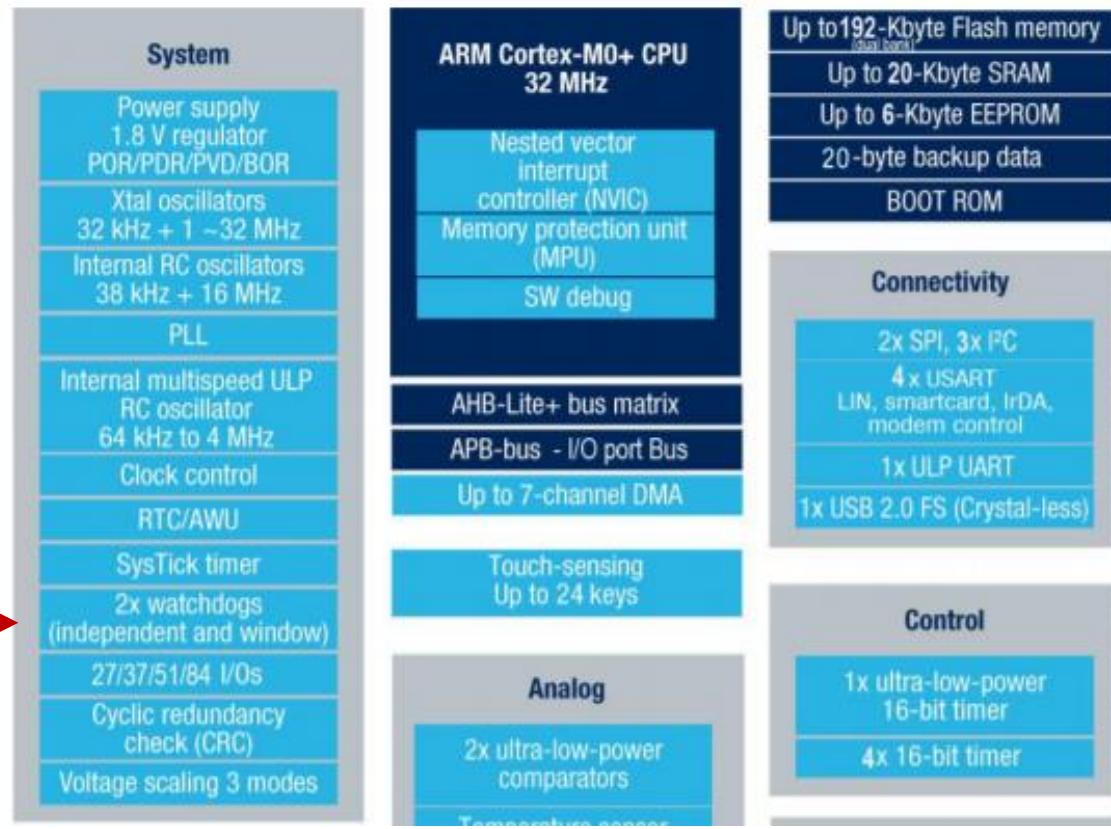


IWDG (Independent watchdog)

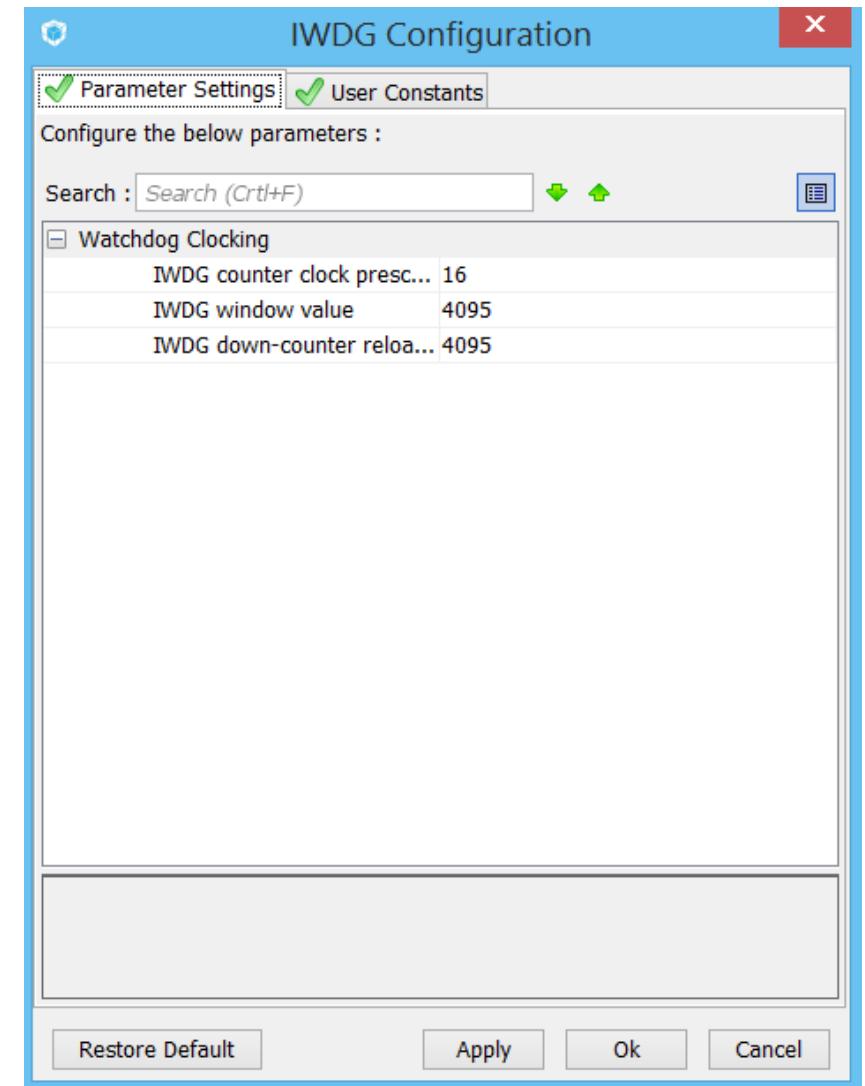
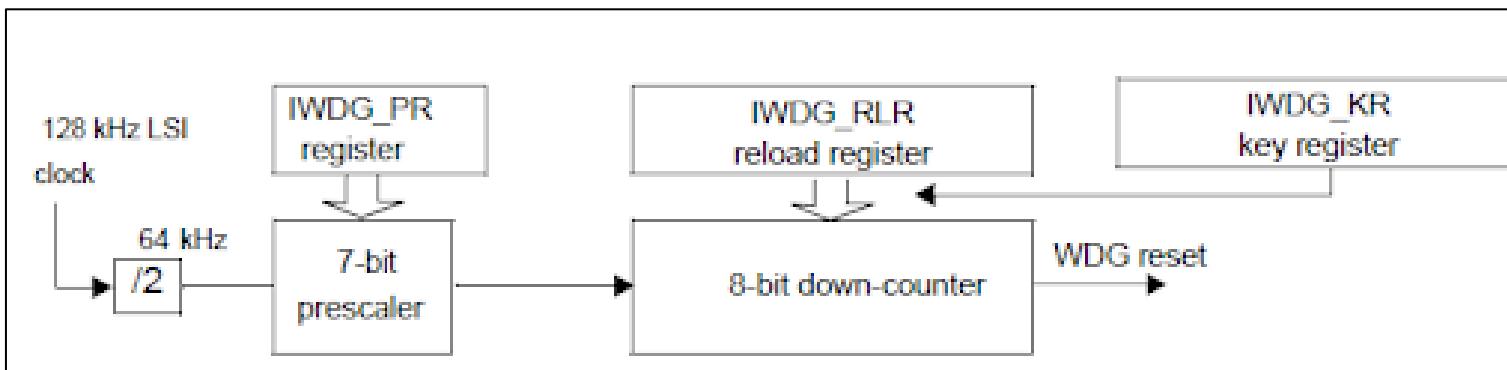
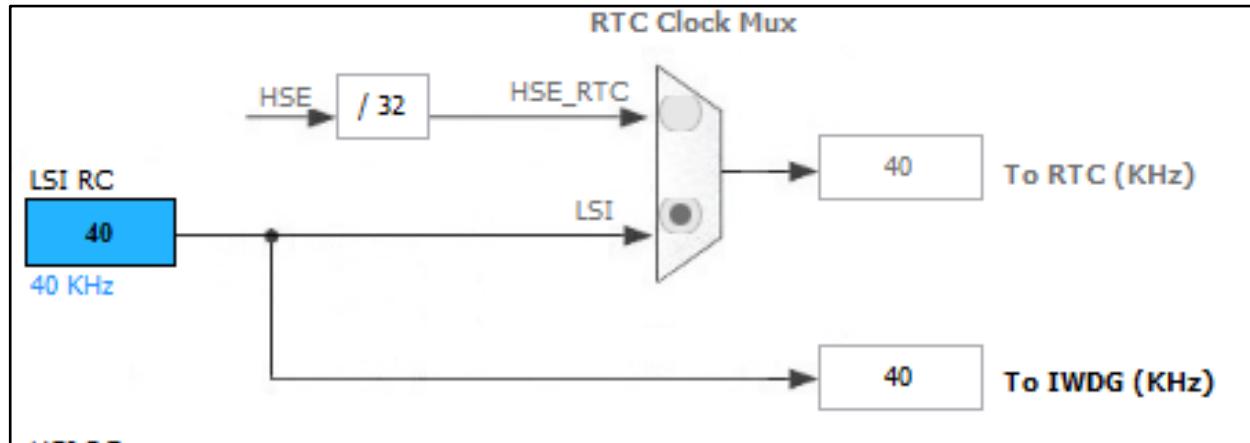
IWDG (Independent watchdog)

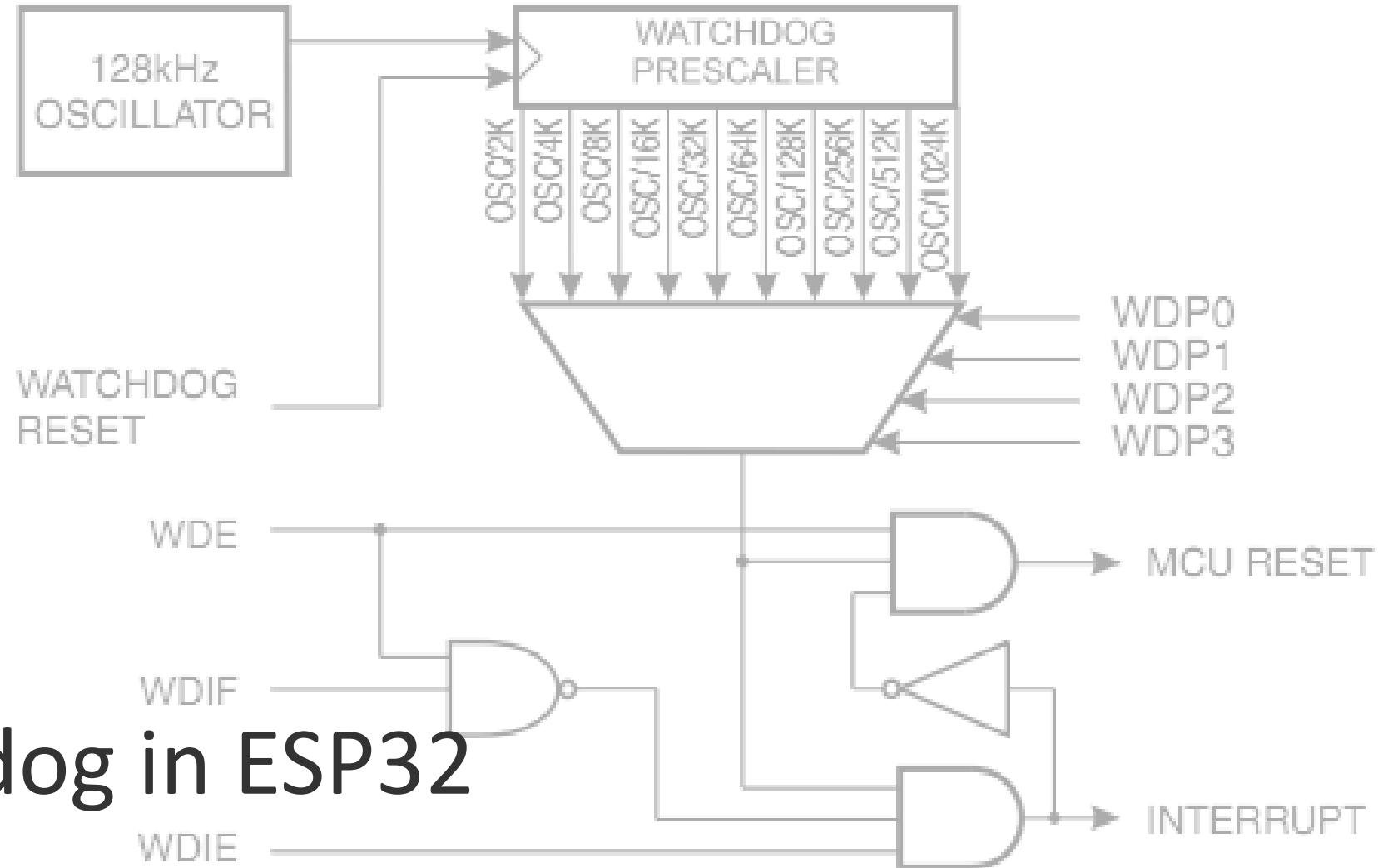
Independent Watchdog (IWDG) หรือตัวจับเวลาการผ่านร่องแบบอิสระ เป็นตัวจับเวลาที่มีการทำงานแบบอิสระ กล่าวคือวงจร Watchdog นี้จะมีการอุปแบบโดยใช้แหล่งของสัญญาณนาฬิกา (Clock) คนละแหล่งกับซีพียู

WWDG + IWDG



IWDG (Independent watchdog)





Watchdog in ESP32

Watchdog

Watchdogs

Overview

The ESP-IDF has support for two types of watchdogs: The Interrupt Watchdog Timer and the Task Watchdog Timer (TWDT). The Interrupt Watchdog Timer and the TWDT can both be enabled using [Project Configuration Menu](#), however the TWDT can also be enabled during runtime. The Interrupt Watchdog is responsible for detecting instances where FreeRTOS task switching is blocked for a prolonged period of time. The TWDT is responsible for detecting instances of tasks running without yielding for a prolonged period.

Watchdog

- ESP32 จะมี Watchdog สองประगหหลักคือ:
- Task Watchdog Timer (TWDT): ใช้เพื่อตรวจสอบการทำงานของ Task (งาน) ต่าง ๆ ในระบบปฏิบัติการ (RTOS) ว่าทำงานเสร็จสิ้นตามเวลาที่กำหนดหรือไม่ หาก Task ใช้เวลามากเกินไป และไม่ตอบสนอง Watchdog จะทำการรีเซ็ตตัว Task หรือระบบได้
- Main Watchdog Timer: ใช้ตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมในภาพรวม ถ้าหากโปรแกรมเกิดการค้าง ไม่สามารถตอบสนองได้ตามเวลาที่กำหนด ระบบจะทำการรีเซ็ตเอง

ESP32 Watchdog

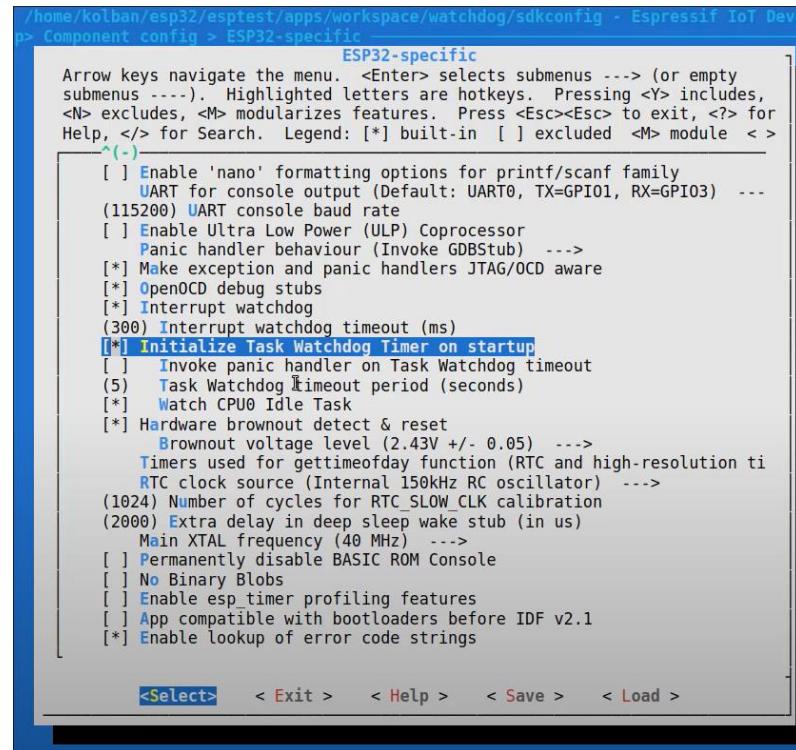
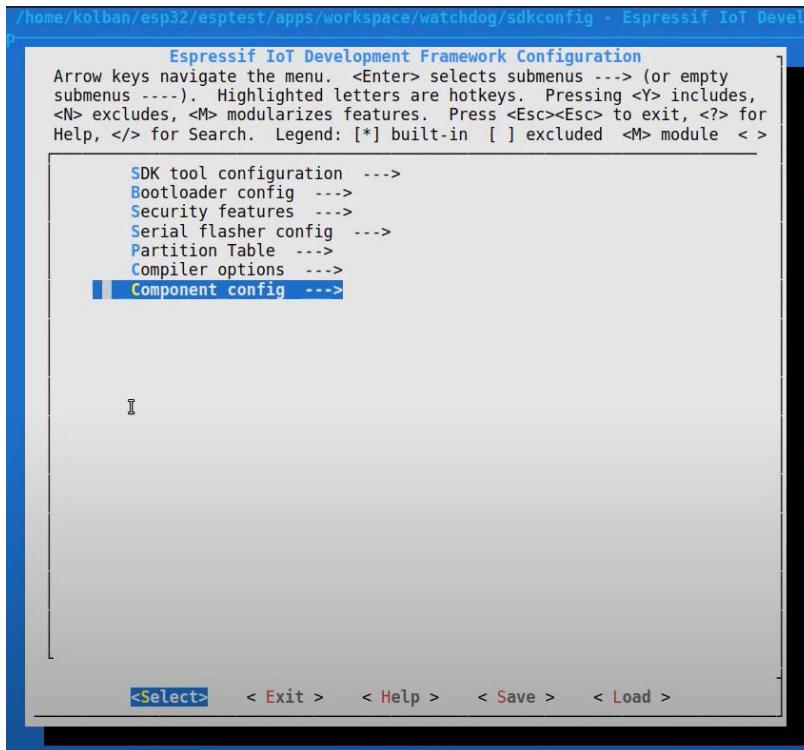
- ESP-IDF
 - Main Watchdog Timer (Interrupt)
 - Task Watchdog Timer (TWDT)
-
- Arduino IDE
 - Set Timer Interrupt
 - Task Watchdog Timer (TWDT)

ESP32 Watchdog

ESP-IDF

Interrupt Watchdog Timer

```
#include <esp_int_wdt.h>
```



ESP32 Watchdog

Arduino IDE

Set Timer Interrupt

```
#include "esp_system.h"
```

```
ets_printf("reboot\n");
esp_restart();
```

Task Watchdog Timer (TWDT)

```
#include <esp_task_wdt.h>
```

```
esp_task_wdt_init(WDT_TIMEOUT, true); //enable panic so ESP32 restarts
esp_task_wdt_add(NULL); //add current thread to WDT watch
esp_task_wdt_reset();
```

Watch dog Basic using Timer Interrupt

```
#include "esp_system.h"

const int button = 0;          //gpio to use to trigger delay
const int wdtTimeout = 3000;   //time in ms to trigger the watchdog
hw_timer_t *timer = NULL;

void IRAM_ATTR resetModule() {
    ets_printf("reboot\n");
    esp_restart();
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    Serial.println();
    Serial.println("running setup");

    pinMode(button, INPUT_PULLUP);

    timer = timerBegin(0, 80, true);
    timerAttachInterrupt(timer, &resetModule, true);
    timerAlarmWrite(timer, wdtTimeout * 1000, false);
    timerAlarmEnable(timer);
}

void loop() {
    Serial.println("running main loop");

    timerWrite(timer, 0); //reset timer (feed watchdog)
    long loopTime = millis();
    //while button is pressed, delay up to 3 seconds to trigger the timer
    while (!digitalRead(button)) {
        Serial.println("button pressed");
        delay(500);
    }
    delay(1000); //simulate work
    loopTime = millis() - loopTime;

    Serial.print("loop time is = ");
    Serial.println(loopTime); //should be under 3000
}
```

Watch dog Basic using Timer Interrupt

```
button pressed
button pressed
reboot

running setup
running main loop
button pressed
reboot
```

At the bottom of the window, there are several configuration options:

- Autoscroll Show timestamp
- Both NL & CR
- 115200 baud
- Clear output

Task Watchdog Timer (TWDT)

`esp_task_wdt.h`

Watchdog using esp_task_wdt.h

```
#include <esp_task_wdt.h>
//3 seconds WDT
#define WDT_TIMEOUT 10
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    Serial.println("Configuring WDT...");
    esp_task_wdt_init(WDT_TIMEOUT, true); //enable panic so ESP32 restarts
    esp_task_wdt_add(NULL); //add current thread to WDT watch
}
int i = 0;
int last = millis();
void loop() {
    // resetting WDT every 2s, 5 times only
    if (millis() - last >= 2000 && i < 5) {
        Serial.println("Resetting WDT...");
        esp_task_wdt_reset();
        last = millis();
        i++;
        if (i == 5) {
            Serial.println("Stopping WDT reset. CPU should reboot in 3s");
        }
    }
}
```

Watchdog using esp_task_wdt.h

```
COM4 Send

13:12:22.599 -> Resetting WDT...
13:12:24.600 -> Resetting WDT...
13:12:26.607 -> Resetting WDT...
13:12:28.618 -> Resetting WDT...
13:12:28.618 -> Stopping WDT reset. CPU should reboot in 10s
13:12:38.647 -> E (22224) task_wdt: Task watchdog got triggered. The following tasks did not reset the watchdog in time:
13:12:38.647 -> E (22224) task_wdt: - loopTask (CPU 1)
13:12:38.647 -> E (22224) task_wdt: Tasks currently running:
13:12:38.647 -> E (22224) task_wdt: CPU 0: IDLE0
13:12:38.647 -> E (22224) task_wdt: CPU 1: loopTask
13:12:38.647 -> E (22224) task_wdt: Aborting.
13:12:38.647 -> abort() was called at PC 0x400d35b3 on core 0
13:12:38.647 ->
13:12:38.647 -> Backtrace: 0x4008b560:0x3ffbe170 0x4008b78d:0x3ffbe190 0x400d35b3:0x3ffbe1b0 0x400845ed:0x3ffbe1d0 0x400e8f07:0x3ffbbff0 0x40
13:12:38.647 ->
13:12:38.647 -> Rebooting...
13:12:38.693 -> ets Jun 8 2016 00:22:57
13:12:38.693 ->
13:12:38.693 -> rst:0xc (SW_CPU_RESET),boot:0x13 (SPI_FAST_FLASH_BOOT)
13:12:38.693 -> configSIP: 0, SPIWP:0xee
13:12:38.693 -> clk_drv:0x00,q_drv:0x00,d_drv:0x00,cs0_drv:0x00,hd_drv:0x00,wp_drv:0x00
13:12:38.693 -> mode:DIO, clock div:1
13:12:38.693 -> load:0x3fff0018,len:4
13:12:38.693 -> load:0x3fff001c,len:1216
13:12:38.693 -> ho 0 tail 12 room 4
13:12:38.693 -> load:0x40078000,len:9720
13:12:38.693 -> ho 0 tail 12 room 4
13:12:38.693 -> load:0x40080400,len:6352
13:12:38.693 -> entry 0x400806b8
13:12:38.834 -> Configuring WDT...
```

10S

Autoscroll Show timestamp Both NL & CR



Power Optimization

Power Optimization

Contents

- Introduction to Power Consumption
- Battery Type
- Lithium Battery
- Design Lithium Charger
- Multi-Cell Batteries
- Voltage regulator design
- MCU Selection
- Energy consumption calculator
- Measure Current
- Summary Power consumption



Embedded System

MCU

Actuator

Charger

Battery



Display

Circuit

Sensor

Connectivity

Regulator



Battery Consumption

Battery Consumption



1827	Ohm's law	<u>Ohm</u>
1833	Ionic mobility in Ag_2S	<u>Faraday</u>
1836	Cu/CuSO_4 , ZnSO_4/Zn	<u>Daniell</u>
1839	Principle of the air cell	<u>Grove</u>
1859	<u>Lead acid battery</u>	<u>Planté</u>
1868	<u>$\text{Zn}/\text{NH}_4\text{Cl}/\text{C}$ wet battery</u>	<u>Leclanché</u>
1874	Telegraph	<u>Edison</u>
1878	Air Cell	<u>Maiche</u>
1880	High capacity lead/acid	<u>Faure</u>
1881	<u>$\text{Zn}/\text{NH}_4\text{Cl}/\text{C}$ encapsulated</u>	<u>Thiebault</u>
1885	Zinc-bromine	<u>Bradley</u>
1887	<u>$\text{Zn}/\text{NH}_4\text{Cl}/\text{C}$ dry battery</u>	<u>Gassner</u>
1891	Thermodynamics of dry cells	<u>Nernst</u>
1899	Nickel cadmium battery	<u>Jungner</u>
1900	Ni Storage batteries	<u>Edison</u>
1905	Ni iron batteries	<u>Edison</u>
1911	Automobile self-starter	<u>Kettering</u>
1927	<u>Silver zinc</u>	<u>Andre</u>
1930	<u>Nickel-zinc battery</u>	<u>Drumm</u>
1943	Cuprous chloride battery	<u>Adams</u>
1945	<u>Mercury cell</u>	<u>Ruben</u>
1950	Sealed mercury Cell	<u>Ruben</u>
1956	<u>Alkaline fuel cell</u>	<u>Bacon</u>
1959	<u>Alkaline primary cell</u>	<u>Urry</u>
1983	Lithium metal rechargeable	<u>Moli</u>
1991	Commercial lithium ion	<u>Sony</u>
1992	Reusable alkaline	<u>Kordesch</u>
1995+	<u>Recent developments</u>	..

Battery

Primary vs. Secondary Batteries

Primary batteries are disposable.



Secondary batteries are rechargeable, because their electrochemical reaction can be reversed



Standard Battery (Type, Voltage)

TABLE 1 COMMON BATTERY TYPES

Battery	Anode (-)	Cathode (+)	Nominal voltage (V)	Approximate energy density (MJ/kg)	Special characteristics
Alkaline	Zinc	Manganese dioxide	1.5	0.5	Long shelf life, supports high-to medium-drain applications
Zinc-carbon	Zinc	Manganese dioxide	1.5	0.13	Economical in cost per hour for low current consumption
Lithium (BR)	Lithium	Carbon monofluoride	3	1.3	Wide temperature operation, high internal impedance, low pulse current
Lithium (CR)	Lithium	Manganese dioxide	3	1	Good pulse capability, stable voltage during discharge
Lithium-thionyl chloride	Lithium	Sulfur-oxygen chlorine	3.6	1.04	Low self-discharge rate, can support 20-year battery
Zinc-air	Zinc	Oxygen	1.4	1.69	High energy density, battery life of weeks to months

Voltage Operator

1.5V?

3V?

3.6V?

1.4V?

Li-po 3.7V 7.4V 11.1V 14.8V 18.5V 22.2V

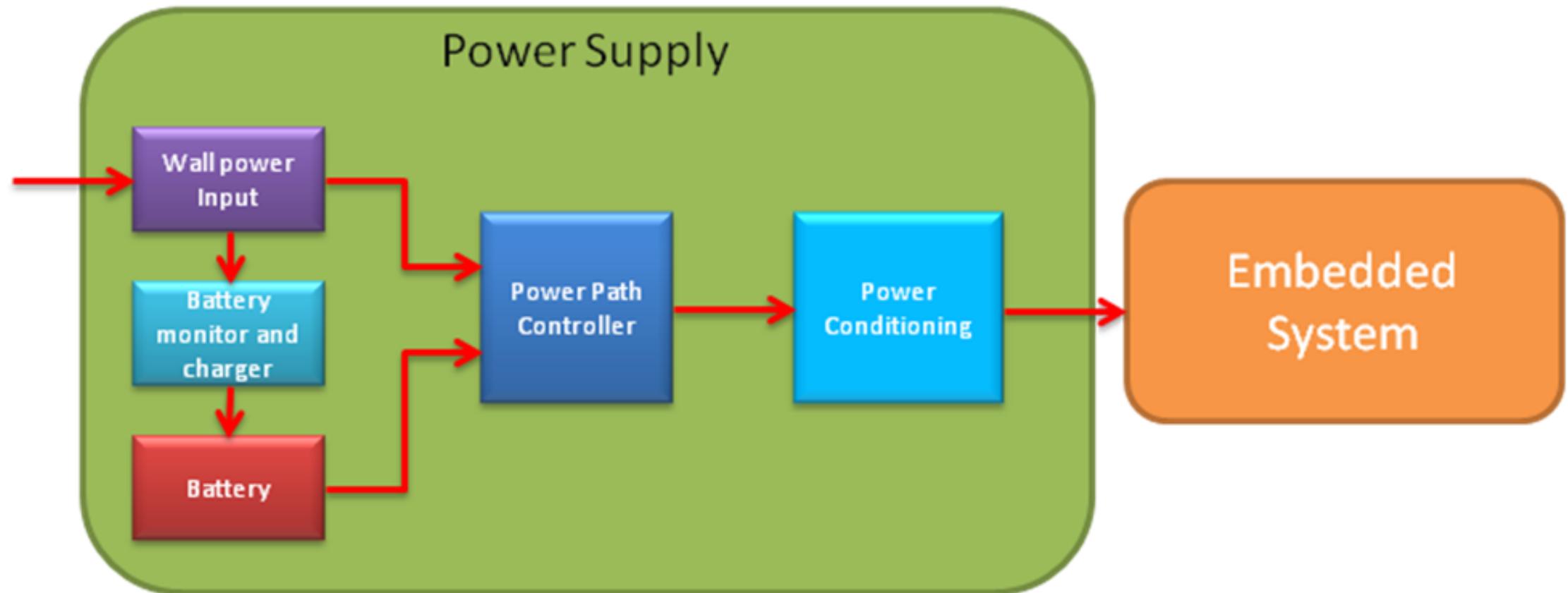
lead-acid 12V

On Your Design!!!

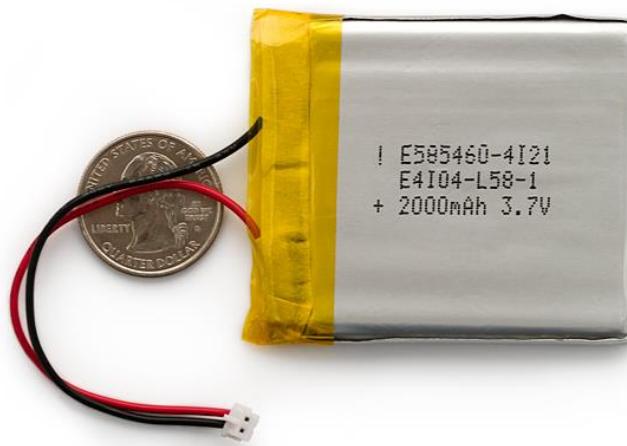
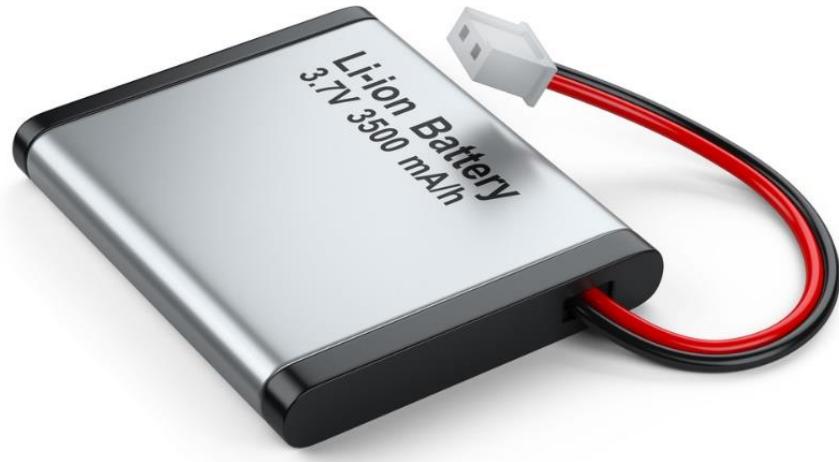
Voltage Operator

- แรงดันในวงจร ควรออกแบบให้เหมาะสม
- ตามปกติควรคำนึงถึง Load ที่ใช้กระแสสูงสุด เป็นอันดับแรก ว่าแรงดันเท่าไหร่

Voltage Operator



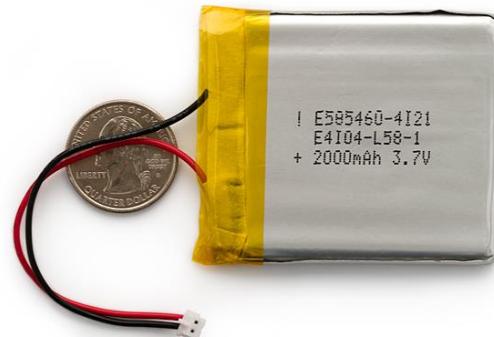
Lithium Battery



Lithium Battery

โดยแบตเตอรี่ Lithium ที่นิยมใช้งานในปัจจุบันแบ่งได้ 3 ชนิดคือ

1. Li-ion (NMC) – ราคาถูก ความจุพลังงานสูง
2. Li-po – ปลอดภัยกว่า ทำรูปทรงได้หลายแบบ เบา บาง ที่มีช่องจำกัดในพื้นที่
3. Li-fepo4 (LFP) – ปลอดภัยที่สุด ราคาแพง ความจุพลังงานต่ำ



Li-ion Battery

Lithium-ion (Li-ion) เป็นเทคโนโลยีแบตเตอรี่ที่ได้รับความนิยมและใช้อย่างแพร่หลายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พกพา เช่น สมาร์ทโฟน แล็ปท็อป รวมถึงรถยนต์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องการพลังงานในปริมาณสูง แบตเตอรี่ชนิดนี้มีข้อดีมาก many เช่น ความหนาแน่นพลังงานสูง น้ำหนักเบา และชาร์จขึ้นได้หลายรอบ

Batteries

พบสินค้าจำนวน 98

จัดเรียงตาม:

ความนิยม

แสดงผล



XCSOURCE ถ่านชาร์จได้ 2x 3.7V 18650 2600mAh Li-ion สำหรับไฟฉาย

★★★★☆ (15 รีวิว)

199 บาท -56%

448 บาท



2x 3.7V 18650 XCSOURCE 2600mAh Li-ion Rechargeable Battery For...

★★★★☆ (11 รีวิว)

230 บาท -51%

468 บาท



WS

1x18650 ถ่านแบตเตอรี่

2Pcs UltraFire 9800mAh 18650 Rechargeable Lithium Li-ion...

★★★★☆ (1 รีวิว)

499 บาท -29%

699 บาท

18650 3.7V
Rechargeable Battery
4800mAh



แบตเตอรี่ BRC 18650 3.7V 4800Mah Li-ion (1 ก้อน)

148 บาท -70%

499 บาท

Li-ion Battery



Li-ion Battery



Li-ion Battery

ICR 10440



mAh?

Current operation 2x + Protection circuit

14500 3.7V
Li-ion
RECHARGEABLE BATTYRY

1200mAh



Li-ion USB Battery

AliExpress™ ≡ ລັບການສັງຈະເຊື່ອ... 🔍 39 ຮົດເຂັ້ມ ໃຫຍ່ລືດຕິ ຜູ້ອະນຸມາ ລັງທີ່ຂ້າໃນໝາຍ | ສົມມັກ AliExpress ຂອງລັບ (1)

ໜ້າແຮກ > ແນວດຫຼູກທັງໝົດ > ອຸປະກຣນີເລື້ອກທຣອນິກສີ > ແທລ່ງຈໍາຍໄຟ > ແນດເຄວົ້ວ > ແນດເຄວົ້ວແນບນໍາຮັງຈຳໄດ້

2775mwh=1850mah

1.5H

● Red indicator—charging
● Green indicator—be fully charged

CES 1850Mah 1.5V AA 2775mwh Li-Polymer Li-Ion Usb Rechargeable Lithium Battery

5.0 ★★★★☆ (44 ໂຫວວດ) ການຈັດເກີບ: China Energy Shop

US \$3.75 - 42.00

US \$5.00 - 56.00 -25%

US \$3.00
ຄູປອງຜູ້ໃຫມ່ສ່າງຄ້າສັງເຊົານັກກວ່າ US \$4.00

ລູກຄ້າລະເຄີຍ & ຂໍ້ອາຫາ

ການຄຸນຄອງຜູ້ຂ້ອງ
 ການຮັບປະກັນດິນເຈັນ ການດິນເຈັນກາຍໃນ 15 ວັນ

Li-ion USB Battery

AliExpress™ | **GTF - Store** | [+ Follow](#) | **5999 Followers** | | [On AliExpress](#) | [In this store](#) | 

Store Home Products Sale Items Top Selling New Arrivals Feedback

GTF®



9V 1000mAh li-ion Rechargeable battery Micro USB Batteries 9 v lithium for Multimeter Microphone Toy Remote Control KTV use

★★★★★ 4.8 ✓ 1457 Reviews 3207 orders

AMAZIN' TIME SALE Ends in 02 : 02 : 49

US \$3.58 - 26.02 US \$5.19 - 37.71 -31%

Instant discount: US \$2.00 off per US \$50.00 ✓

+ US \$6.00 off per US \$65.00 | US \$1.00 off on US \$10.00 | Get coupons

Color:



Quantity:

- 1 + 8301 pieces available

Shipping: US \$4.74
to Thailand via Seller's Shipping Method ✓
Delivered before Dec 20 or full refund ⓘ

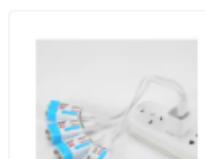
Recommended For You



US \$3.44

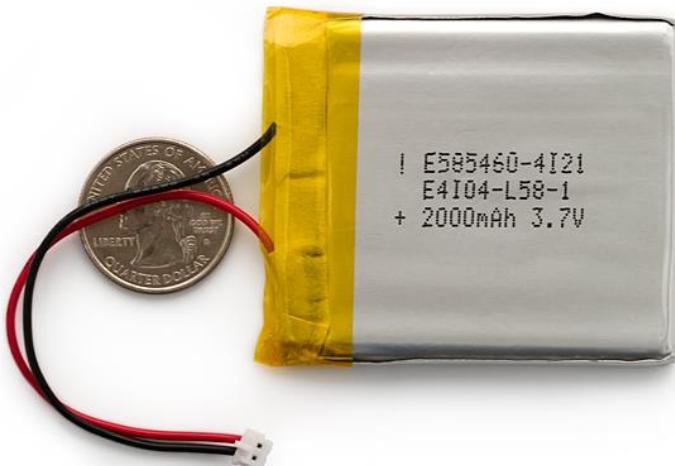


US \$3.93

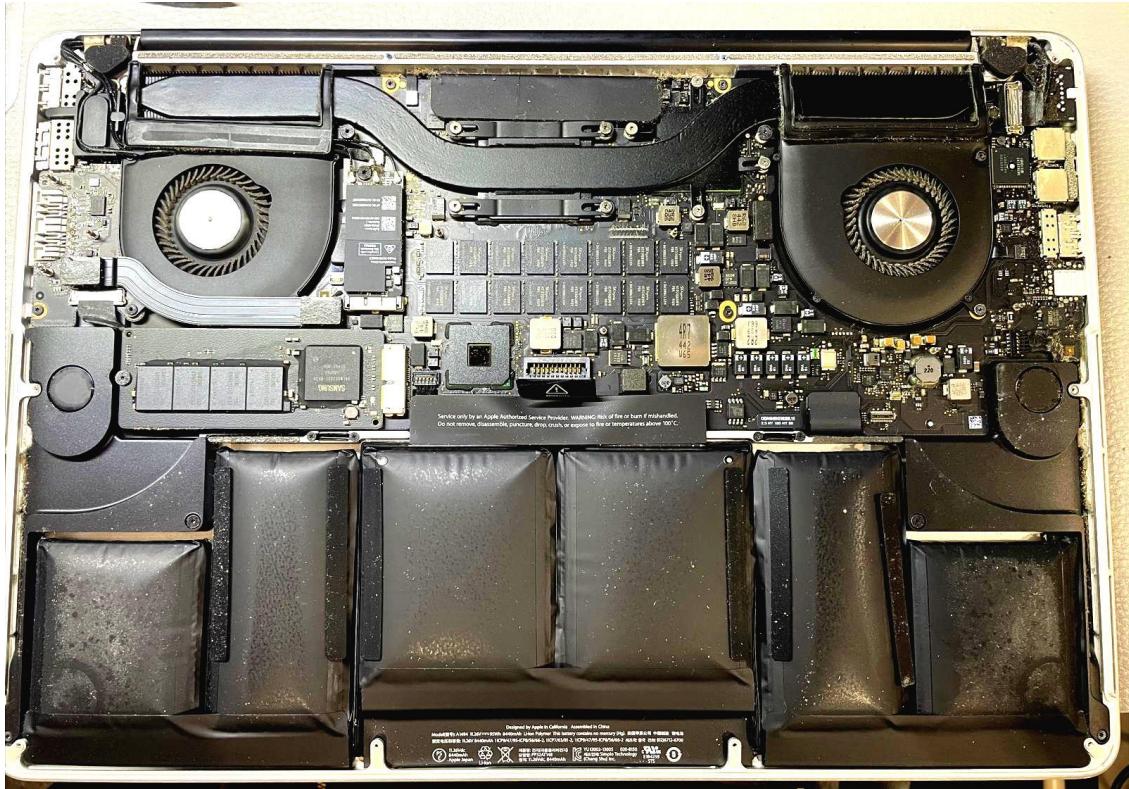


Li-po

Li-Po (Lithium Polymer) เป็นแบตเตอรี่ชนิดหนึ่งของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (Li-ion) ซึ่งใช้สารเคมีคล้ายกับแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนทั่วไป แต่มีข้อแตกต่างที่สำคัญคือ ชนิดของอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ที่ใช้เป็นเจลโพลิเมอร์ หรือสารโพลิเมอร์ชนิดแข็งแทนอิเล็กโทรไลต์เหลวในแบตเตอรี่ Li-ion แบบปกติ



Li-po Battery



LiFePO₄ Battery Cell Lithium Iron Phosphate

LiFePO₄ (Lithium Iron Phosphate) เป็นแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนที่มีความปลอดภัยสูง อายุการใช้งานยาวนาน และทนทานต่ออุณหภูมิสูง ทำให้เหมาะสมกับการใช้งานในรถยนต์ไฟฟ้าและระบบพลังงานสำรอง มีความหนาแน่นพลังงานจะต่ำกว่าแบตเตอรี่ Li-ion อื่นๆ แต่จุดเด่นคือมีเสถียรภาพและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่า

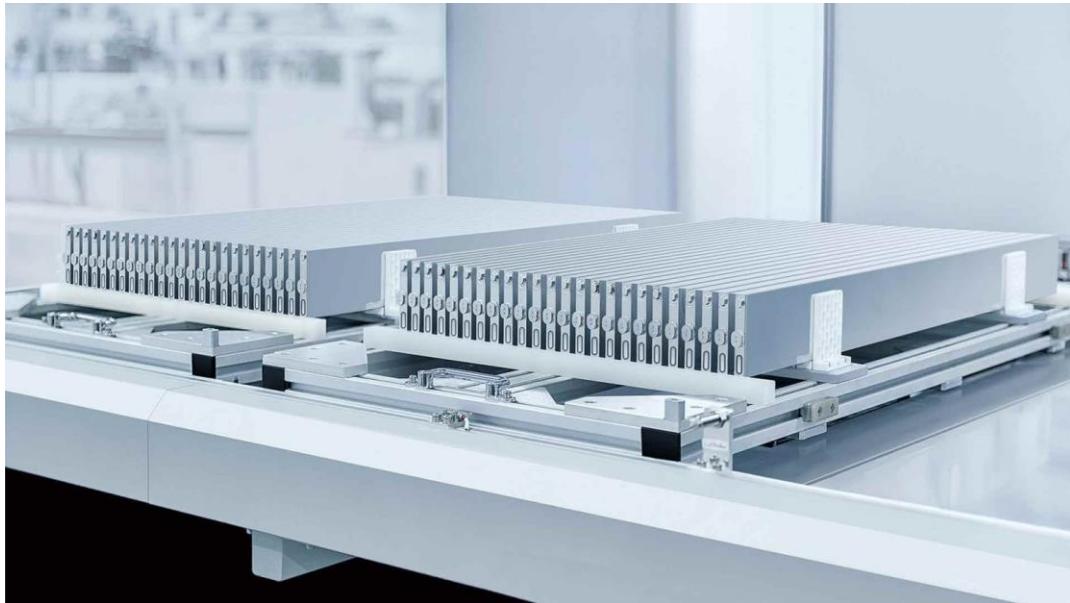
3.2V 1700mAh LiFePo4



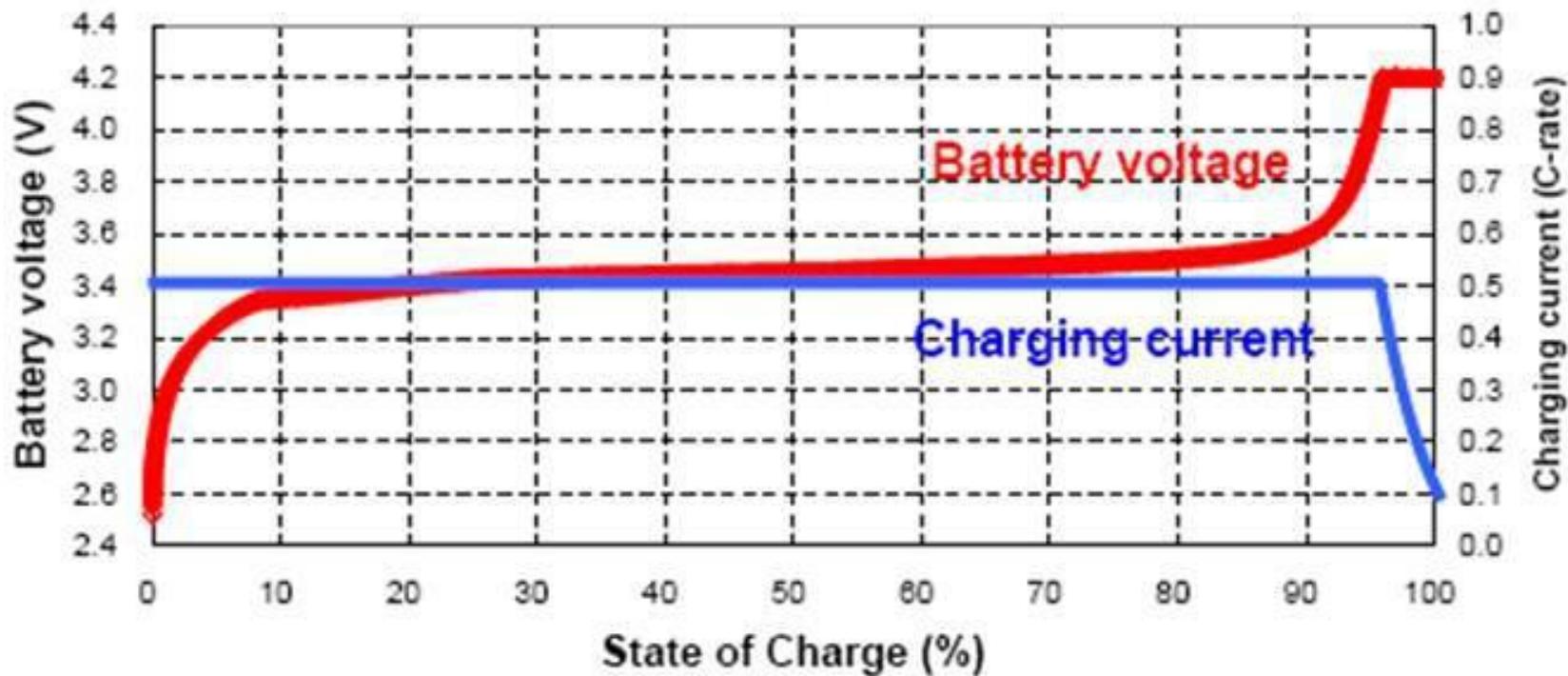
18650



LiFePO4 Battery



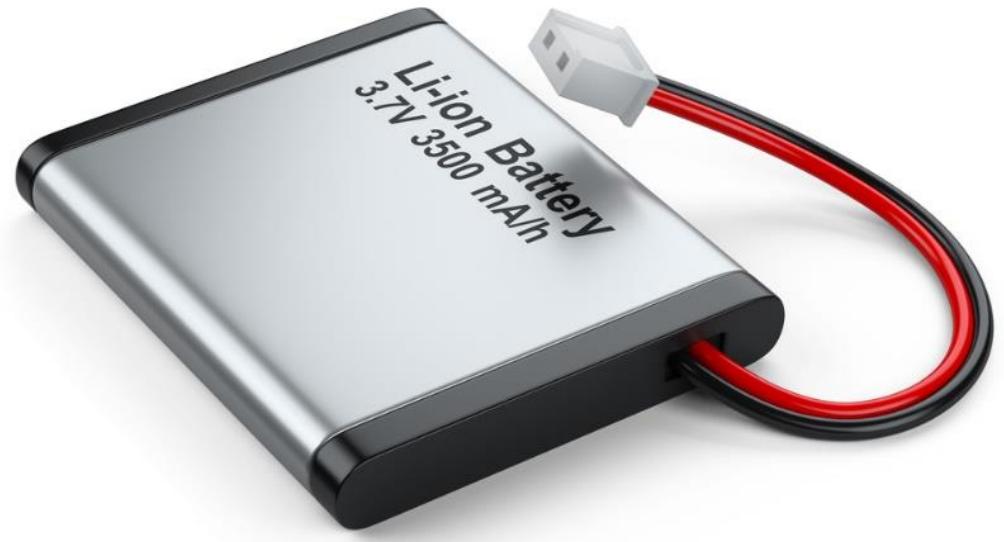
LiFePO₄ Battery Cell Lithium Iron Phosphate



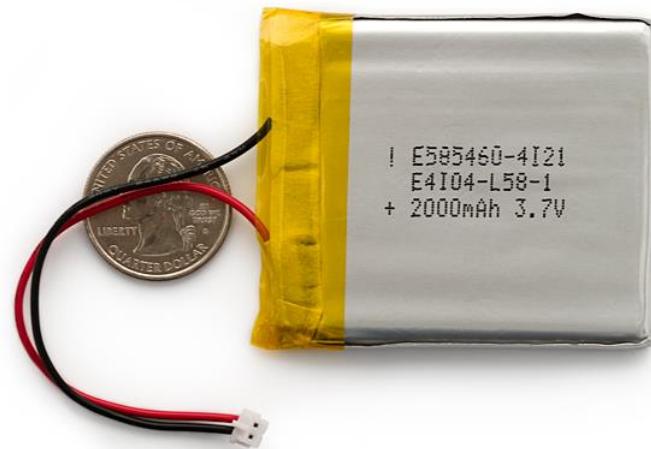
ลิเธียมไอออนฟอสเฟตสามารถประจุไฟได้ในแบบแรงดันคงที่ หมายความว่าผู้ใช้งานสามารถประจุไฟ
ให้มีด้วยอะแดปเตอร์ไฟตรง เมื่อกับแบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรด และใช้ระยะเวลาในการประจุไฟ
ใหม่น้อยกว่าแบตเตอรี่แบบเก่า

LiFePO4 Battery Cell Lithium Iron Phosphate

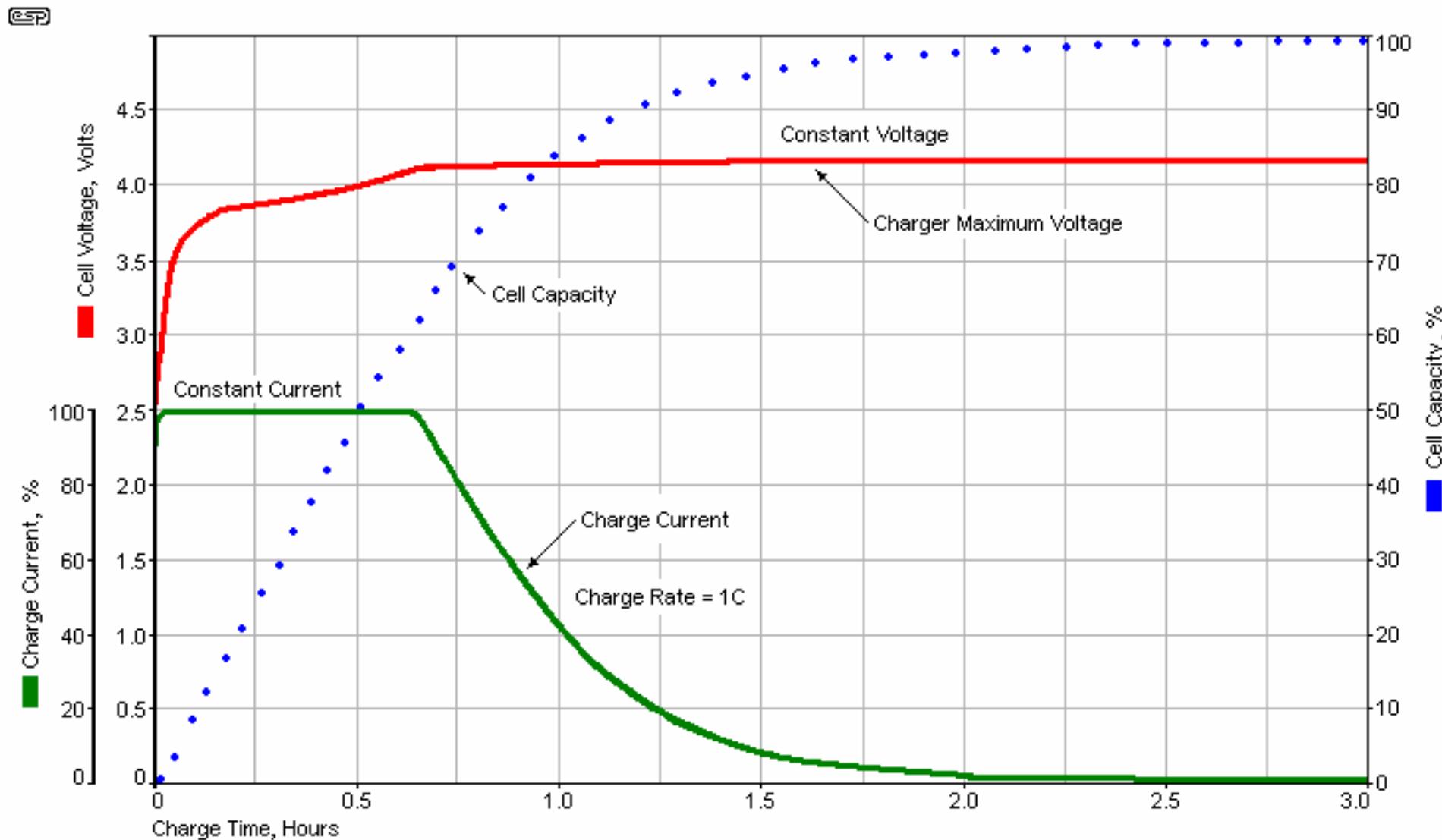




Ex Design Li-ion Charger



Design Li-ion Charger



Design Li-ion Charger

ES Electronics Source

[Product Categories](#) [About Us](#) [Manufacturers](#) [Customer Service](#) [Contact Us](#) [Language \(](#)

[Home](#) > [Search](#) > [Charger](#)

2 Items in > [Product](#) > [Semiconductor - Integrated Circuit](#) > [Power Management Integrated Circuit](#) > [Battery Management](#)

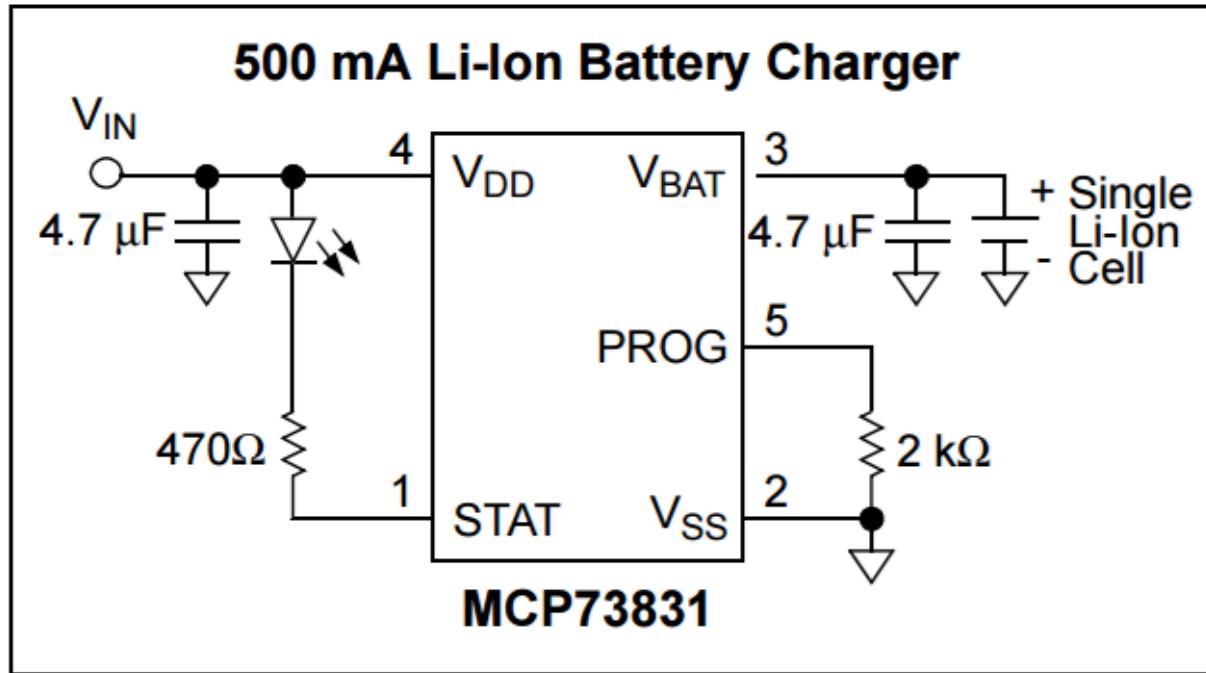
show item in stock

All Items (2) New Products (0) New Coming Items (0) Clearance Sale Items (1) Page 1 of 1

Picture	ES Part No.	Part No	Stock	Price	Datasheet	Pb Free	RoHS	Description
	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼				▲ ▼
	0016-0046-4	TEA1101P	719	17.00				Battery Monitor for NiCd and NiMH Chargers
	0035-1499-8	MCP73831T-2ACI/OT	5,434	19.28		PB-Free	RoHS	Li-Ion,Li-Polymer Charge Management Controll

Design Li-ion Charger

Typical Application



$$I_{REG} = \frac{1000V}{R_{PROG}}$$

Where:

R_{PROG} = kOhms
 I_{REG} = milliamperes

I_{reg} หรือ กระแส Charge ไม่ควรเกิน ครึ่งหนึ่งของขนาดความจุของแบตเตอรี่

Ex 10440 320mAh ควรใช้กระแส ประมาณ 100 – 150 mA

Design Li-ion Charger

ICR 10440



$$I_{REG} = \frac{1000V}{R_{PROG}}$$

Where:

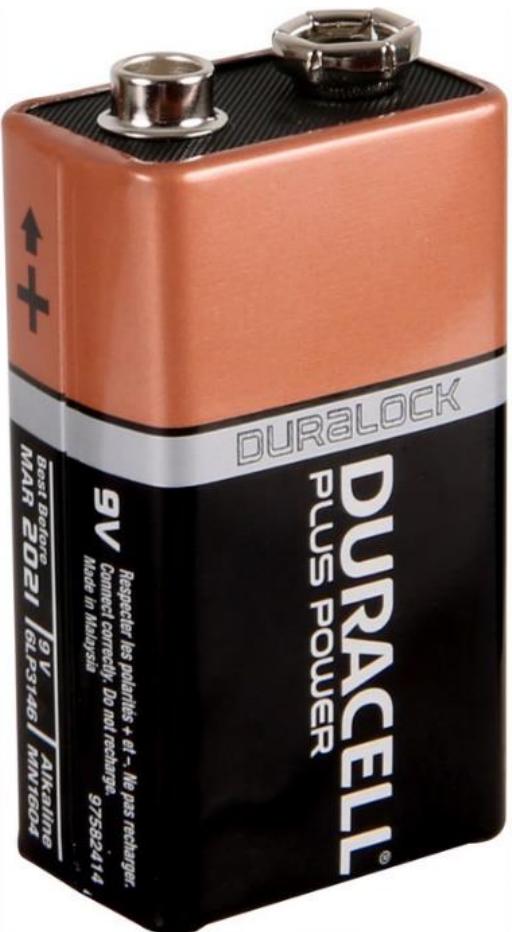
R_{PROG} = kOhms

I_{REG} = milliampere

Ex 10440 320mAh ควรใช้กระแส ประมาณ 100 – 160 mA

Multi-Cell Batteries

Battery 9V

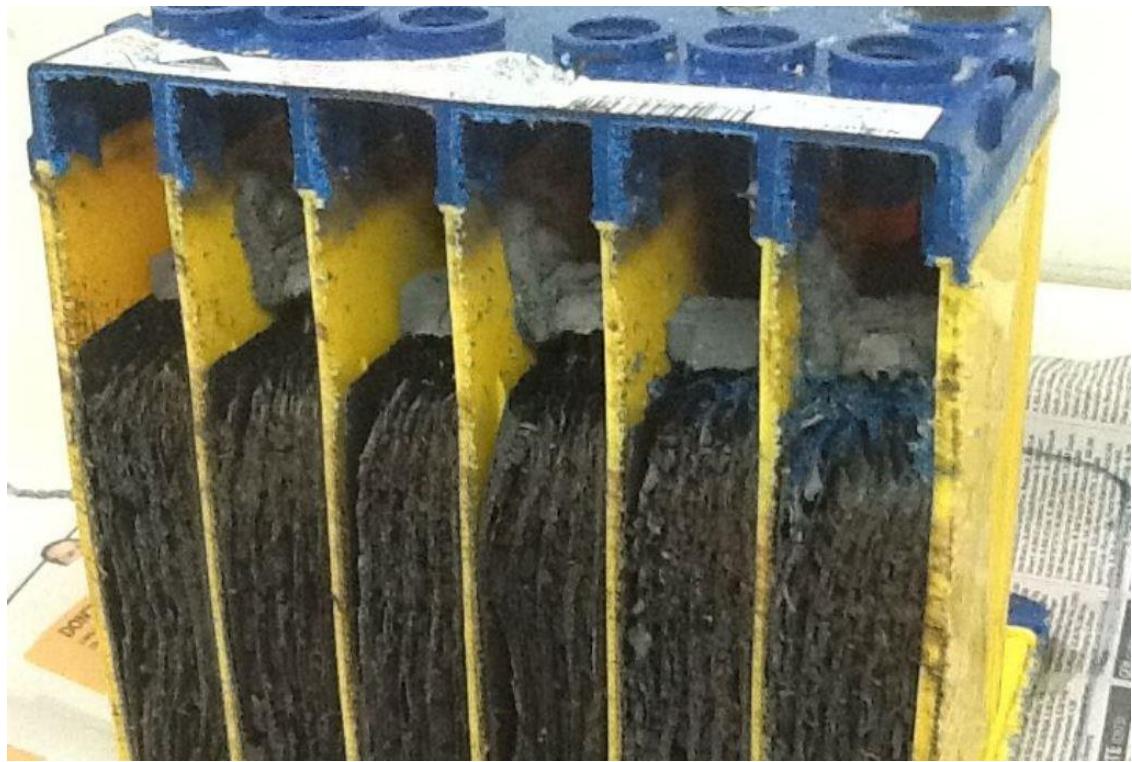


cel

goughlui.com

$$1.5 \times 6 = 9V$$

Battery 12V lead-acid battery



$$2.1 \times 6 = 12.6V$$

Ni-cd Pack Battery 12V

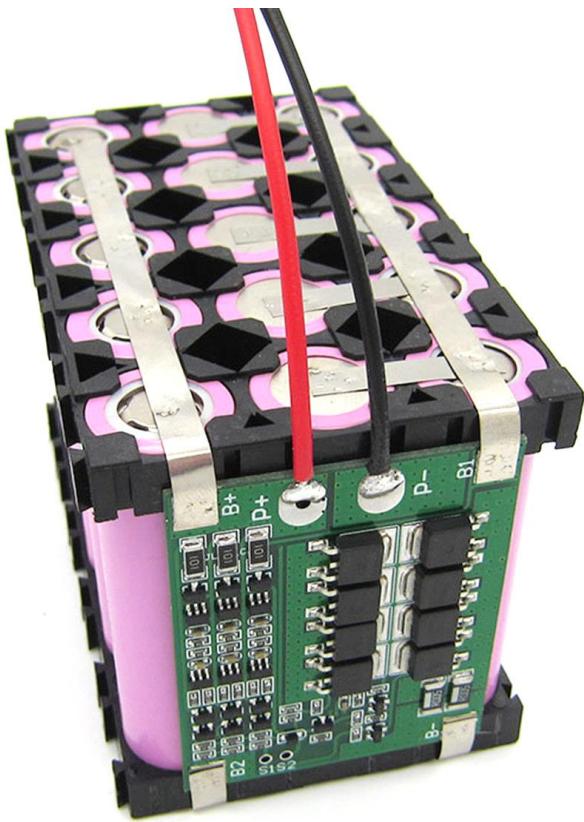


Li-ion Pack Battery 12V

1S (3.7V)
4S (14.8V)

2S (7.4V)
5S (18.5V)

3S (11.1V)
6S (22.2V)



Li-po Pack

1S (3.7V)
4S (14.8V)

2S (7.4V)
5S (18.5V)

3S (11.1V)
6S (22.2V)



LiFePo4 Pack

4S(12.8)

16S (51.2V)

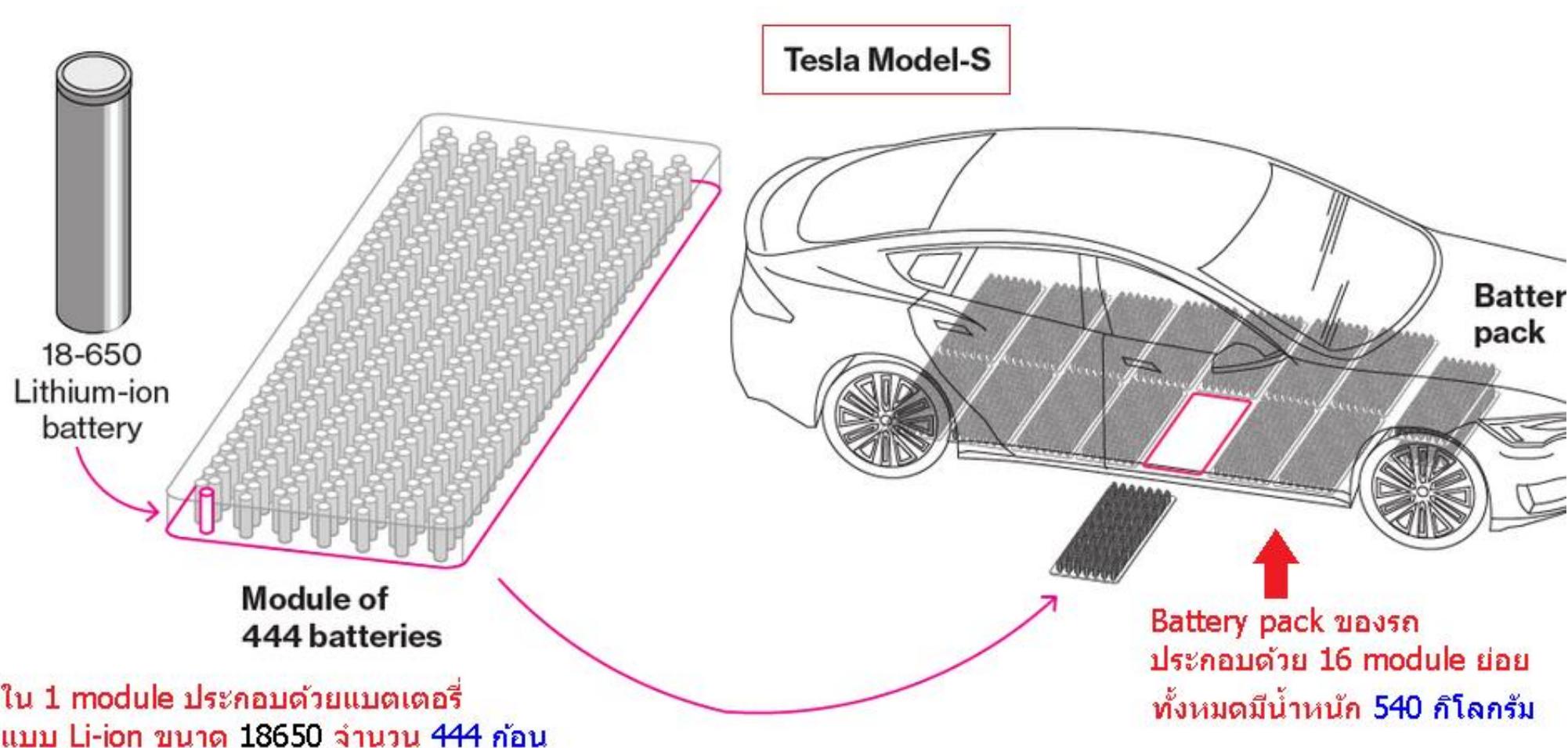
23S (73.6V)

24S (76.8)



LiFePo4 ขนาด 24S แรงดัน 76.8V

Battery pack in Tesla car

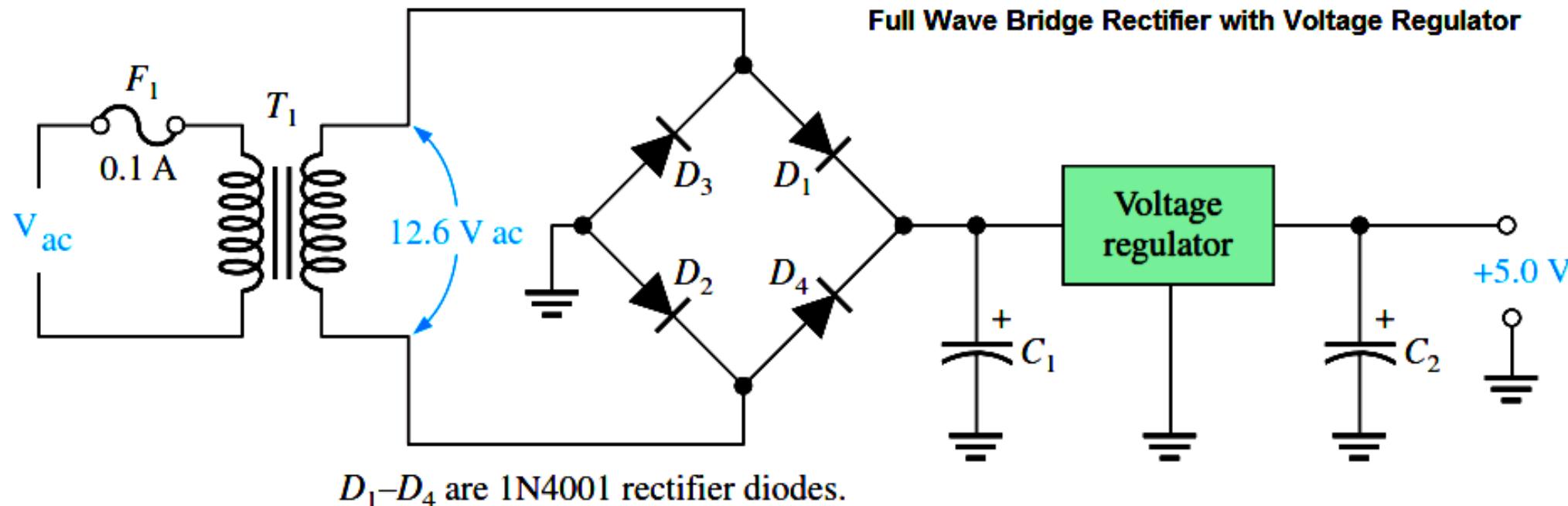


ใน 1 module ประกอบด้วยแบตเตอรี่
แบบ Li-ion ขนาด 18650 จำนวน 444 ก้อน

Voltage regulator design

Voltage Regulator

วงจรคุ้มค่าแรงดัน(Voltage regulator) คือ วงจรที่ทำหน้าที่ควบคุ้มค่าแรงดันเอาต์พุตให้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้คงที่





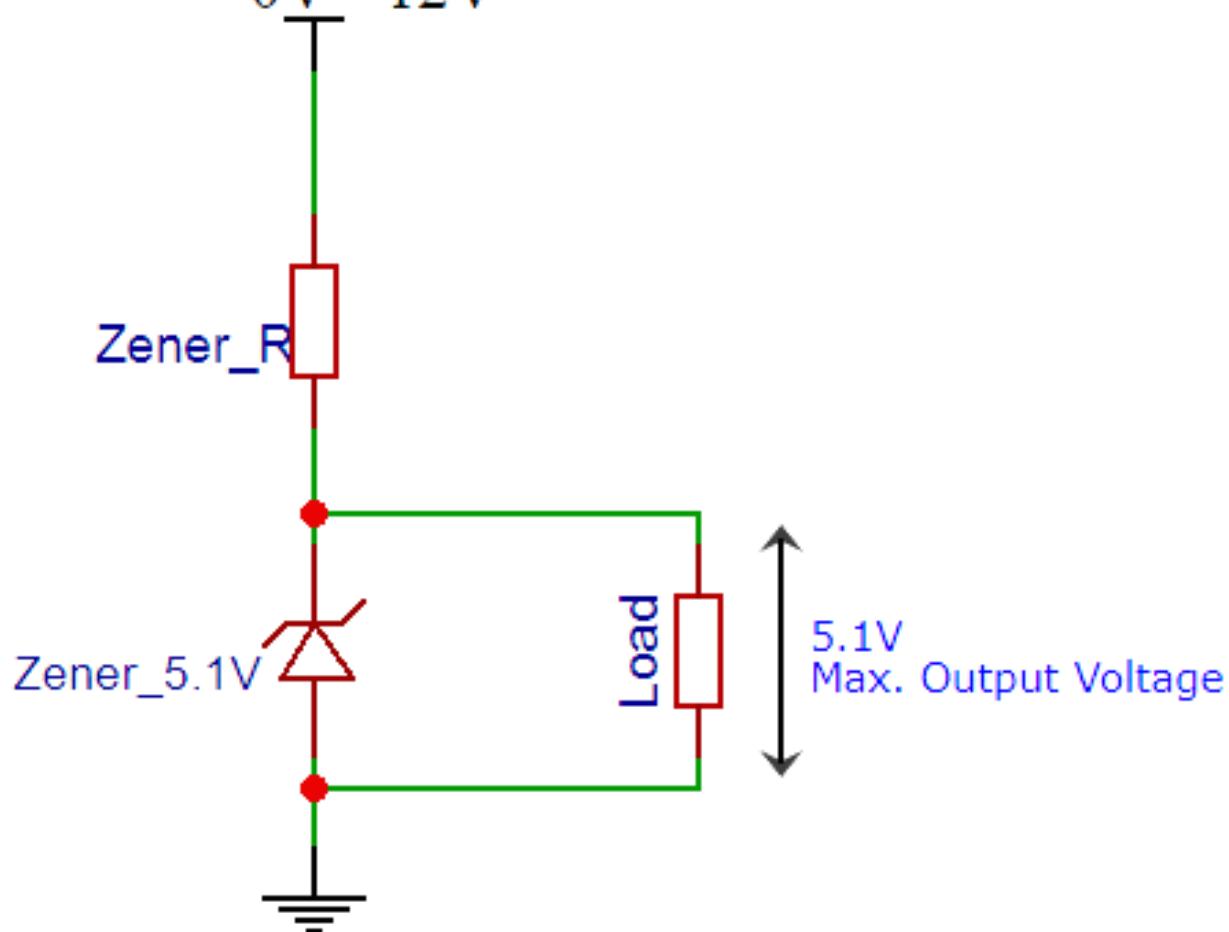
Voltage Regulator

- มีหลายแบบ หลายประเภท
 - 1. Zener Diode
 - 2. Linear Regulator
 - Regulator(typical)
 - Low dropout voltage(LDO)
 - 3. Switching mode supply(SMP)

Voltage Regulator

Zener Diode

0V - 12V

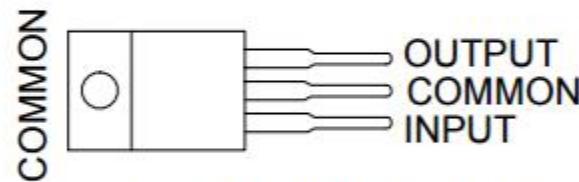


Voltage Regulator

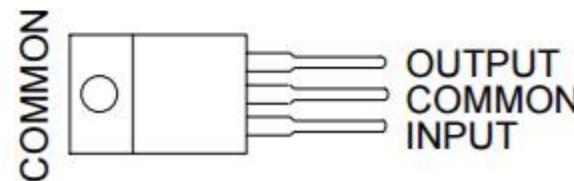
Linear Regulator – Easy Simple

-
- 3-Terminal Regulators
 - Output Current up to 1.5 A
 - Internal Thermal-Overload Protection

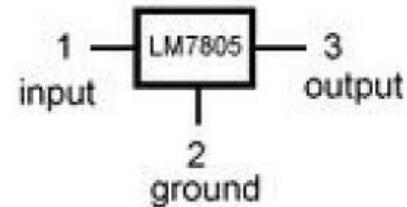
KC (TO-220) PACKAGE
(TOP VIEW)



KCS (TO-220) PACKAGE
(TOP VIEW)



LM7805 PINOUT DIAGRAM



Voltage Regulator

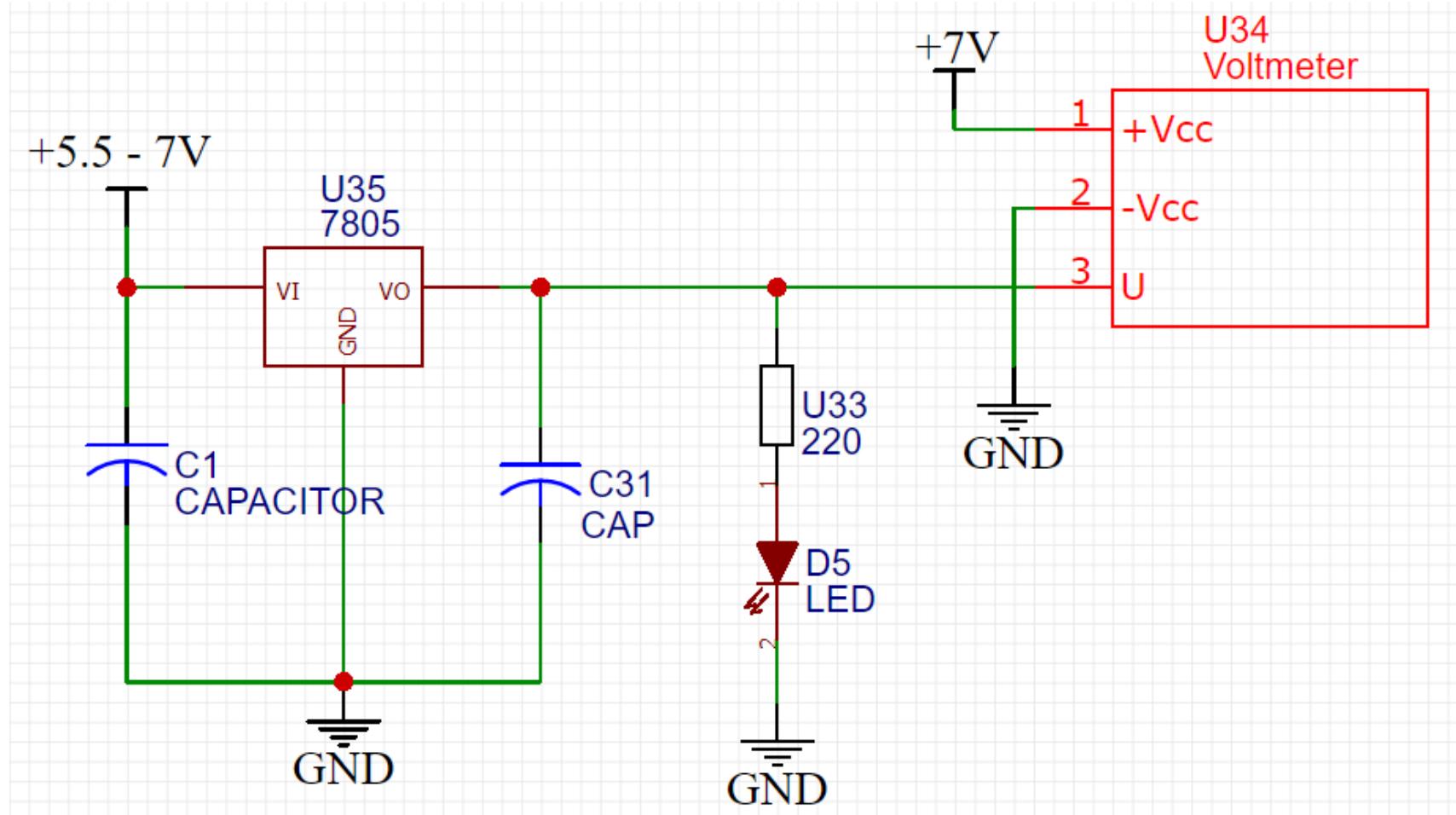
electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 10\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J^\dagger	μA7805C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	25°C	4.8	5	5.2	V
		0°C to 125°C	4.75		5.25	
Input voltage regulation	$V_I = 7\text{ V to } 25\text{ V}$	25°C		3	100	mV
	$V_I = 8\text{ V to } 12\text{ V}$			1	50	
Ripple rejection	$V_I = 8\text{ V to } 18\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	62	78		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$	25°C		15	100	mV
	$I_O = 250\text{ mA to } 750\text{ mA}$			5	50	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C		0.017		Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C		-1.1		mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to } 100\text{ kHz}$	25°C		40		μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.2	8	mA
Bias current change	$V_I = 7\text{ V to } 25\text{ V}$	0°C to 125°C			1.3	mA
	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C		750		mA
Peak output current		25°C		2.2		A

[†]Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

Voltage Regulator

Linear Voltage Regulator



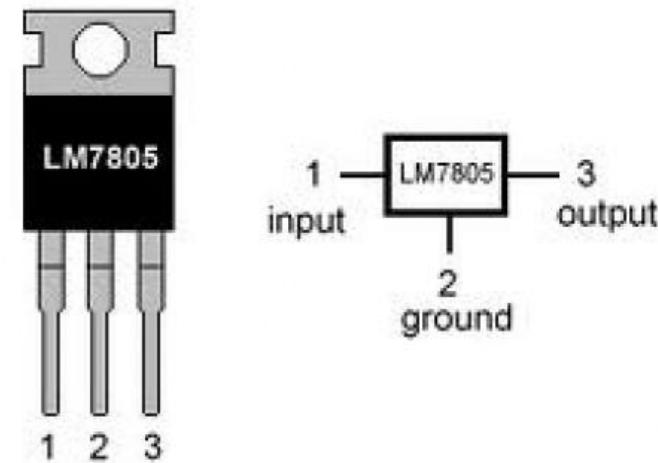
Voltage Regulator

Linear Voltage Regulator

Problem

- Input Power
- Drain Power
- High Dropout Voltage
- Low efficiency

LM7805 PINOUT DIAGRAM



Voltage Regulator

LDO – Low Dropout Voltage



MCP1700

Low Quiescent Current LDO

Features:

- 1.6 μ A Typical Quiescent Current
- Input Operating Voltage Range: 2.3V to 6.0V
- Output Voltage Range: 1.2V to 5.0V
- 250 mA Output Current for Output Voltages \geq 2.5V
- 200 mA Output Current for Output Voltages $<$ 2.5V
- Low Dropout (LDO) Voltage
 - 178 mV Typical @ 250 mA for $V_{OUT} = 2.8V$
- 0.4% Typical Output Voltage Tolerance
- Standard Output Voltage Options:
 - 1.2V, 1.8V, 2.5V, 2.8V, 3.0V, 3.3V, 5.0V
- Stable with 1.0 μ F Ceramic Output Capacitor
- Short Circuit Protection
- Overtemperature Protection

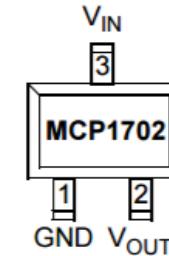
General Description:

The MCP1700 is a family of CMOS low dropout (LDO) voltage regulators that can deliver up to 250 mA of current while consuming only 1.6 μ A of quiescent current (typical). The input operating range is specified from 2.3V to 6.0V, making it an ideal choice for two and three primary cell battery-powered applications, as well as single cell Li-Ion-powered applications.

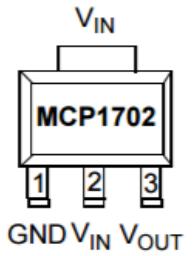
The MCP1700 is capable of delivering 250 mA with only 178 mV of input to output voltage differential ($V_{OUT} = 2.8V$). The output voltage tolerance of the MCP1700 is typically $\pm 0.4\%$ at $+25^\circ C$ and $\pm 3\%$ maximum over the operating junction temperature range of $-40^\circ C$ to $+125^\circ C$.

Output voltages available for the MCP1700 range from 1.2V to 5.0V. The LDO output is stable when using only 1 μ F output capacitance. Ceramic, tantalum or aluminum electrolytic capacitors can all be used for

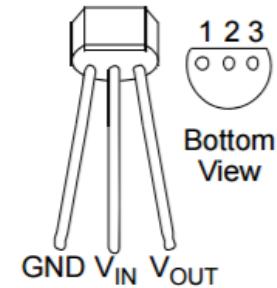
3-Pin SOT-23A



3-Pin SOT-89



3-Pin TO-92



Voltage Regulator

LDO – Low Dropout Voltage

Dropout Voltage $V_R > 2.5V$	$V_{IN} - V_{OUT}$	—	178	350	mV	$I_L = 250 \text{ mA}$, (Note 1, Note 5)
Dropout Voltage $V_R < 2.5V$	$V_{IN} - V_{OUT}$	—	150	350	mV	$I_L = 200 \text{ mA}$, (Note 1, Note 5)

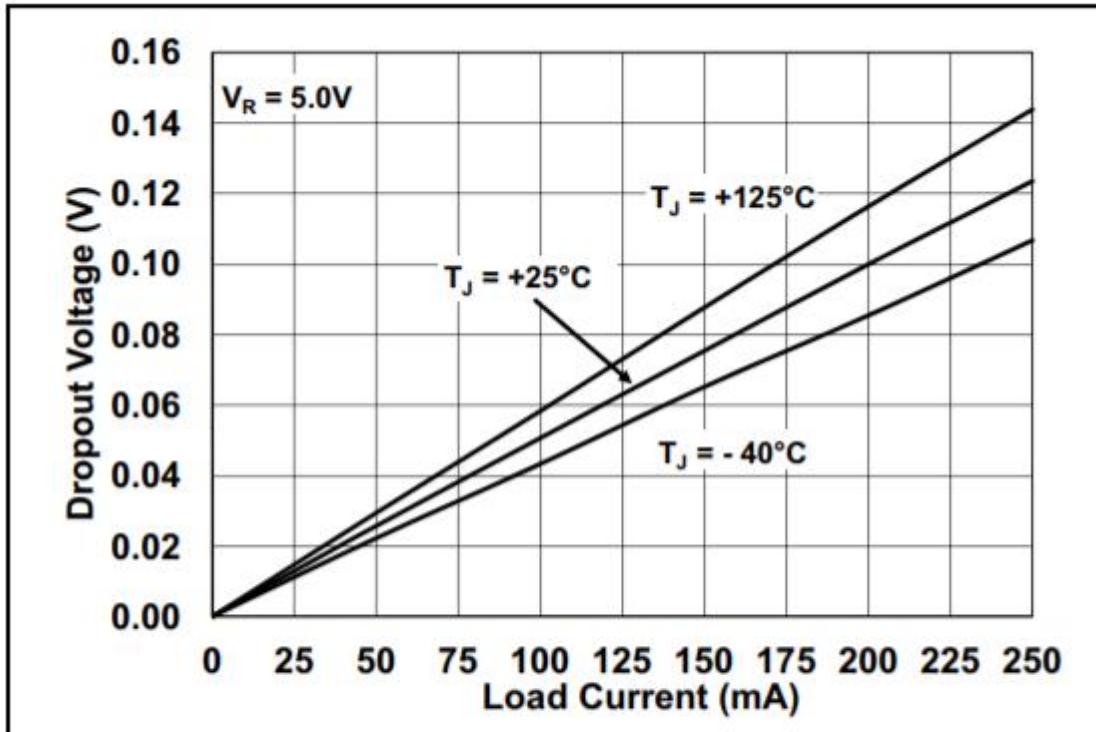


FIGURE 2-13: Dropout Voltage vs. Load Current ($V_R = 5.0V$).

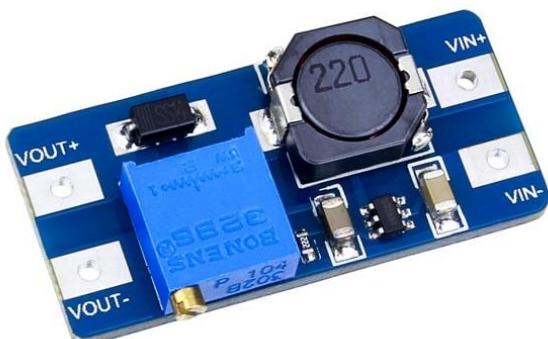
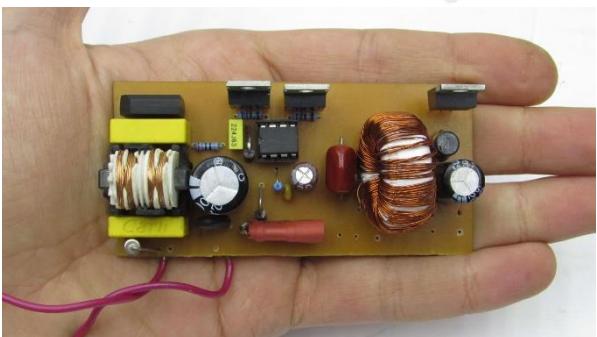
Voltage Regulator

Switching Mode Supply

DC 12V 5A 60W
DC 12V 3.2A 40W

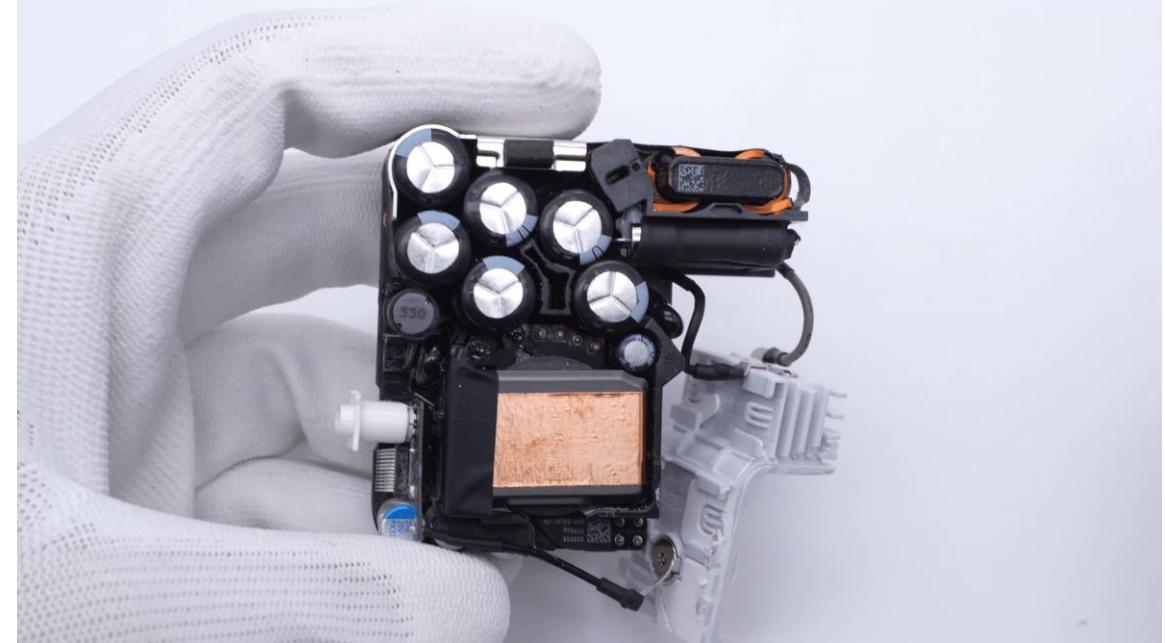


Input: AC 110V/220V



Voltage Regulator

Switching Mode Supply with GaN

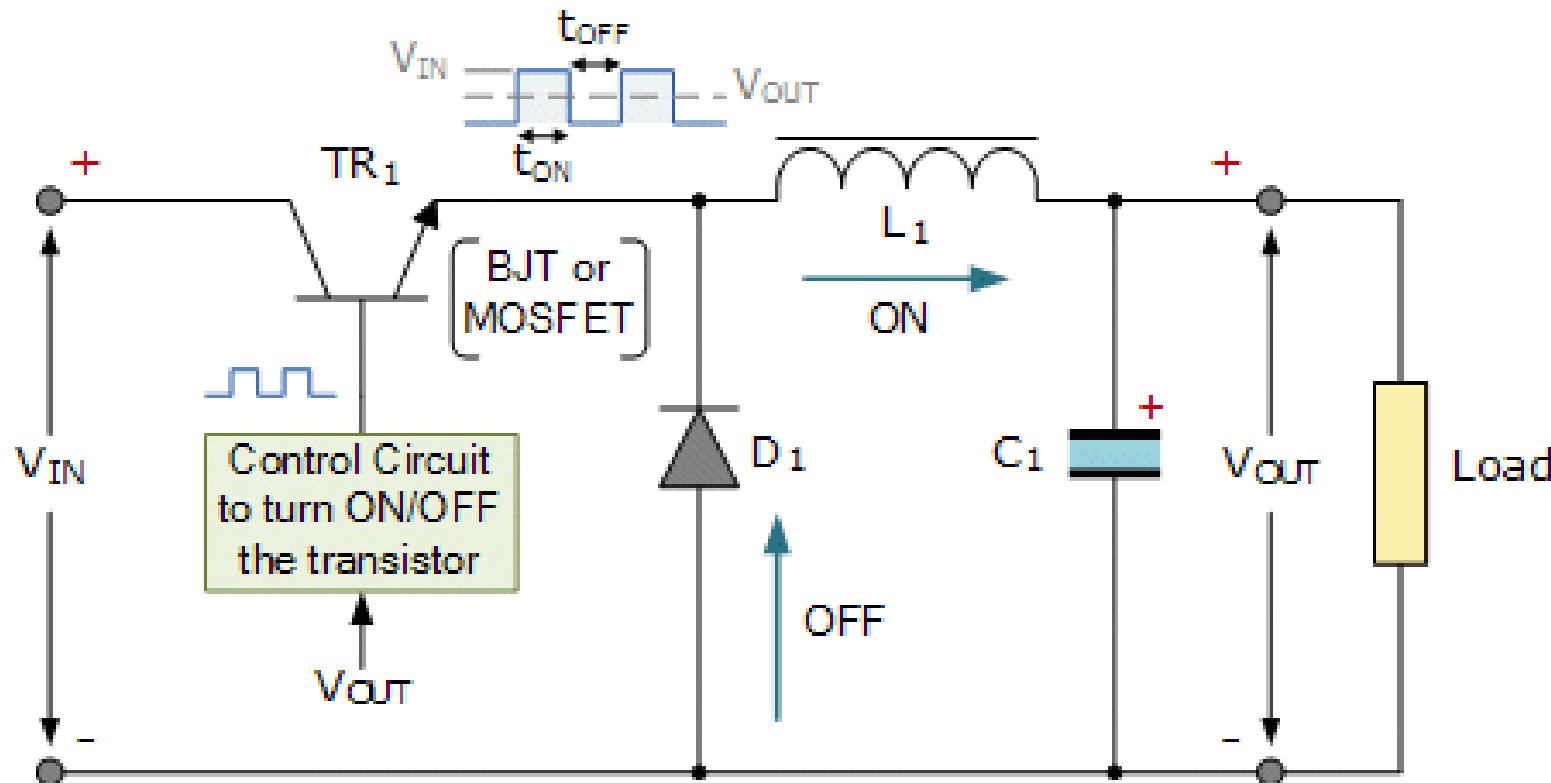


Voltage Regulator

Switching Mode Supply

เป็น regulator ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

efficiency > 80%



Voltage Regulator

Switching Mode Supply

มีหลายแบบ

- Boost/Step up (แปลงแรงดันขึ้น)
 - Buck/Step down (แปลงแรงดันลง)
 - Boost/Buck (แปลงแรงดันขึ้นและลง)
- ขึ้นอยู่กับการออกแบบ และนำไปใช้งาน



Voltage Regulator

Switching Mode Supply

- Boost (แปลงแรงดันขึ้น)

2A booster stepup โมดูลแปลงไฟขึ้น 2-24V เป็น 5-28V



รหัสสินค้า	A810
หมวดหมู่	เกรกเกเตอร์ Step Up
ราคา	60.00 บาท
สถานะสินค้า	พร้อมส่ง
แก้ไขล่าสุด	28 ม.ค. 2562
ความพึงพอใจ	ยังไม่มีความคิดเห็น
จำนวน	<input type="text" value="1"/> ชิ้น

หยิบลงตะกร้า



ร้านนี้ยืนยันตัวตนแล้ว

Voltage Regulator

Switching Mode Supply

- Buck (แปลงแรงดันลง)

**LM2596HVS High voltage Step down 5-48V to
1.25-26V**



รหัสสินค้า	A827
หมวดหมู่	เรกูเลเตอร์ Step Down
ราคา	90.00 บาท
สถานะสินค้า	พร้อมส่ง
แก้ไขล่าสุด	3 พ.ค. 2562
ความพึงพอใจ	ยังไม่มีความคิดเห็น
จำนวน	<input type="text" value="1"/> ชิ้น

หยิบลงตะกร้า



ร้านนี้ยืนยันด้วยตัวตนแล้ว

Voltage Regulator

Switching Mode Supply

- Boost/Buck (แปลงแรงดันขึ้นและลง)

Step up & Down (Buck&Boost) Super XL6009 5-32V to 1.25-32V 4A



รหัสสินค้า	A1180
หมวดหมู่	เรกูเลเตอร์ Step Up&Down
ราคา	70.00 บาท
สถานะสินค้า	พร้อมส่ง
แก้ไขล่าสุด	19 เม.ย. 2562
ความพึงพอใจ	ยังไม่มีความคิดเห็น
จำนวน	<input type="text" value="1"/> ชิ้น

หยิบลงตะกร้า



ร้านนี้ยืนยันตัวตนแล้ว

Voltage Regulator

Switching Mode Supply

- Boost/Buck (แปลงแรงดันขึ้นและลง)

DC automatic step up and step down power supply module 3-15V to 3.3V 600mA โมดูลแปลงไฟ 3-15V เป็น 3.3V 600mA



รหัสสินค้า	A229
หมวดหมู่	เรกูเลเตอร์ Step Up&Down
ราคา	45.00 บาท
สถานะสินค้า	พร้อมส่ง
ความพึงพอใจ	ยังไม่มีความคิดเห็น
จำนวน	<input type="text" value="1"/> ↑ ↓ ขึ้น

หยิบลงตะกร้า

Power consumption in Embedded System

MCU

Actuator

Charger

Battery



Display

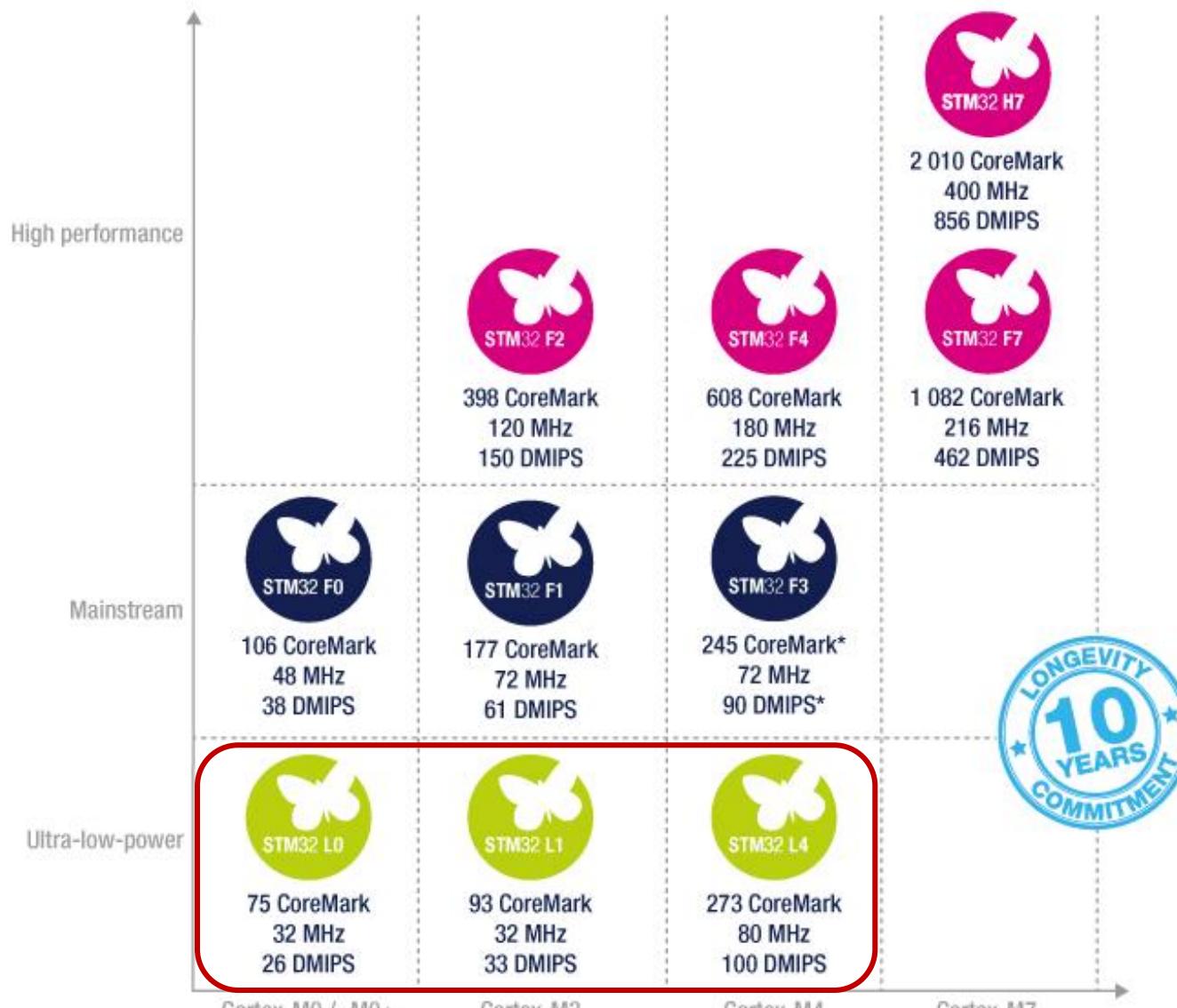
Circuit

Sensor

Connectivity

Regulator

32 Bit ARM Cortex-M Programming



*from CCM-SRAM

MCU Selection



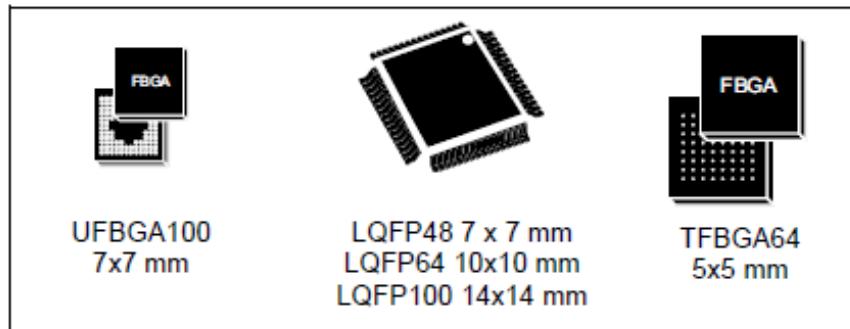
STM32L073x8 STM32L073xB STM32L073xZ

Ultra-low-power 32-bit MCU ARM®-based Cortex®-M0+, up to 192KB Flash, 20KB SRAM, 6KB EEPROM, LCD, USB, ADC, DACs

Datasheet - production data

Features

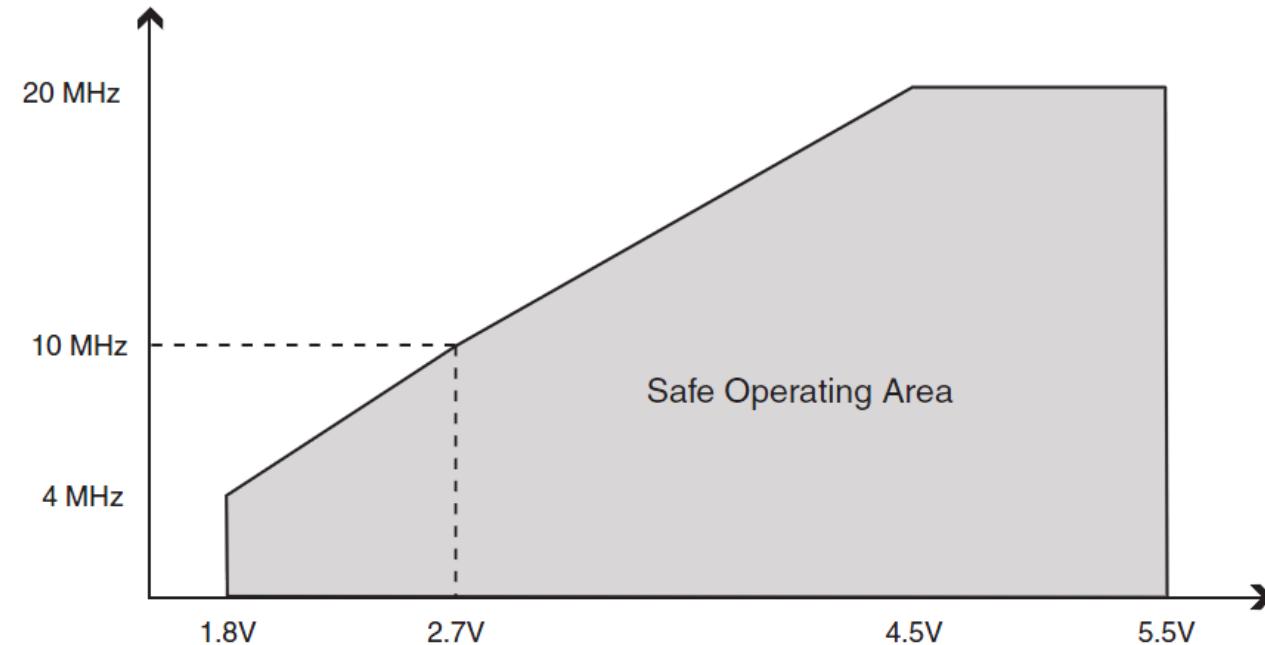
- Ultra-low-power platform
 - 1.65 V to 3.6 V power supply
 - -40 to 125 °C temperature range
 - 0.29 µA Standby mode (3 wakeup pins)
 - 0.43 µA Stop mode (16 wakeup lines)
 - 0.86 µA Stop mode + RTC + 20 KB RAM retention
 - Down to 93 µA/MHz in Run mode
 - 5 µs wakeup time (from Flash memory)
 - 41 µA 12-bit ADC conversion at 10 kspS
- Core: ARM® 32-bit Cortex®-M0+ with MPU
 - From 32 kHz up to 32 MHz max.
 - 0.95 DMIPS/MHz



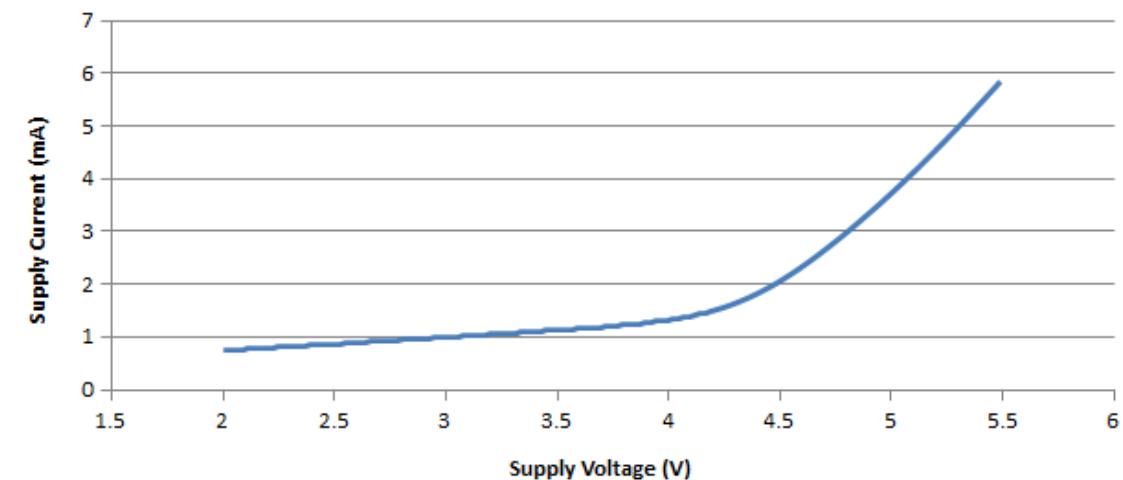
- Support contrast adjustment
- Support blinking mode
- Step-up converted on board
- Rich Analog peripherals
 - 12-bit ADC 1.14 Msps up to 16 channels (down to 1.65 V)
 - 2 x 12-bit channel DACs with output buffers

MCU Selection

Maximum Frequency vs. V_{cc}



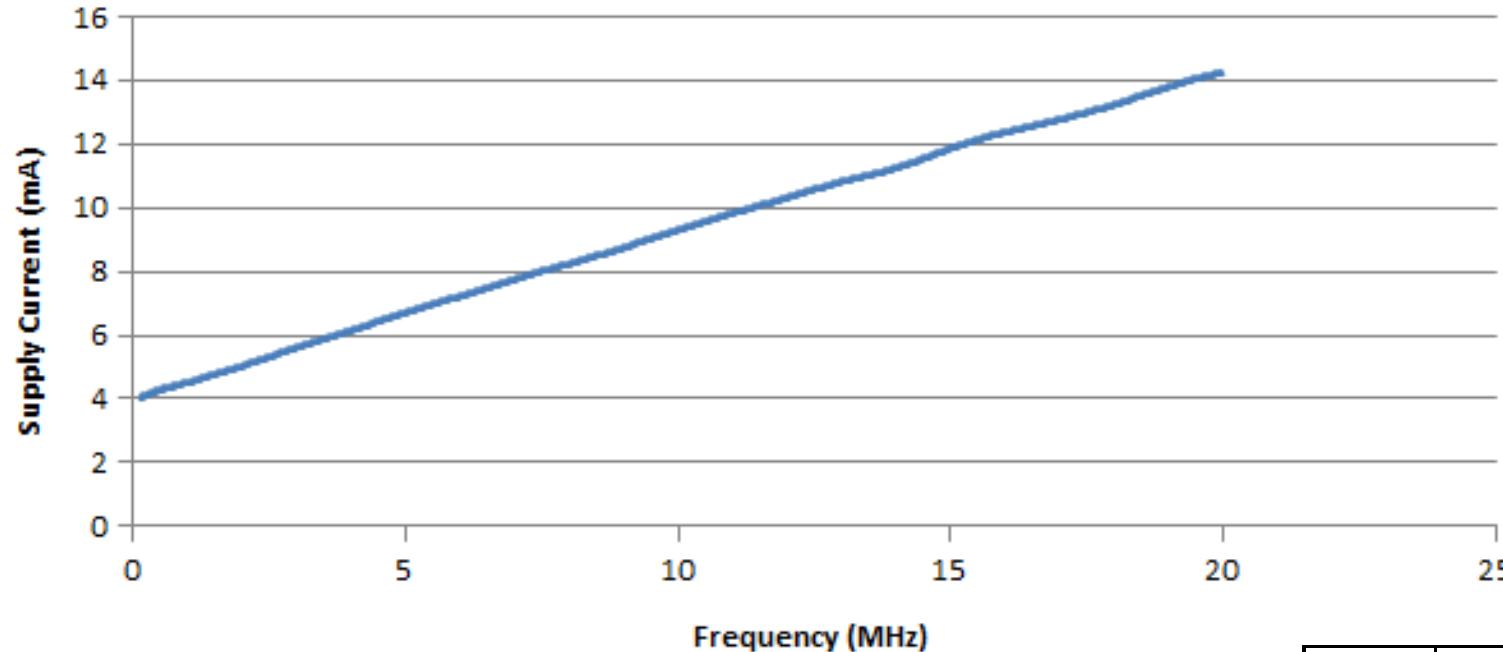
ATmega328P V_{cc} vs Supply Current (1MHz)



แรงดันของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งแบร์พันตຽงถ้าใช้แรงดันต่ำจะมีอัตราการกินไฟน้อยลง ที่ก็ควรระวังใน การออกแบบว่า วงจรที่ออกแบบใช้แรงดันเท่าไหร่ในการทำงานด้วยเช่นกัน

MCU Selection

ATmega328P Frequency vs Supply Current (5V)



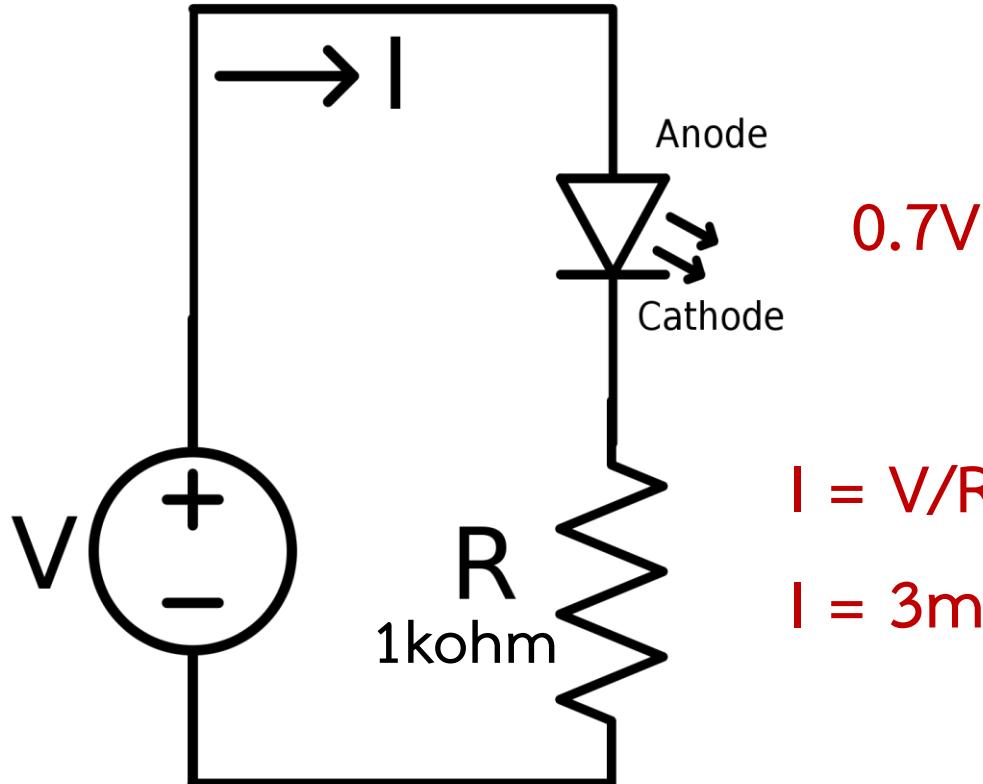
ไมโครคอนโทรลเลอร์มีความเร็วสูงมาก มีการกินพลังงาน
มากกว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ความเร็วต่ำกว่า ดังนั้นในบาง
งานที่ไม่ต้องการการประมวลผลความเร็วสูง สามารถลด
ระดับความเร็วของสัญญาณนาฬิกาได้

Vcc (V)	Clock Speed (MHz)	Wake Current (mA)	Sleep Current (uA)
5.0	16	13.92	6.2
5.0	8	9.03	6.2
3.3	16	6.48	4.3
3.3	8	3.87	4.3

Energy consumption calculator

Test Cal Power

ICR 10440



$$I = V/R = (3.7 - 0.7)/1000$$

$$I = 3mA$$

Batt 320mAh ใช้ได้นาน?

107ชม = 4วัน 11ชั่วโมง!!!

Test Cal Power



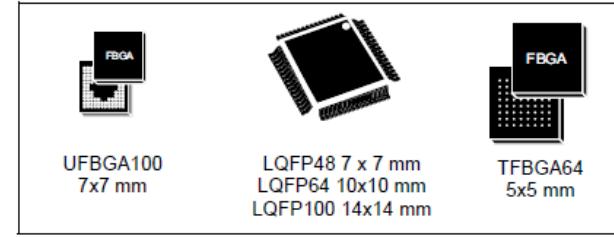
STM32L073x8 STM32L073xB STM32L073xZ

Ultra-low-power 32-bit MCU ARM®-based Cortex®-M0+, up to 192KB Flash, 20KB SRAM, 6KB EEPROM, LCD, USB, ADC, DACs

Datasheet - production data

Features

- Ultra-low-power platform
 - 1.65 V to 3.6 V power supply
 - -40 to 125 °C temperature range
 - 0.29 µA Standby mode (3 wakeup pins)
 - 0.43 µA Stop mode (16 wakeup lines)
 - 0.86 µA Stop mode + RTC + 20 KB RAM retention
 - Down to 93 µA/MHz in Run mode
 - 5 µs wakeup time (from Flash memory)
 - 41 µA 12-bit ADC conversion at 10 ksps
- Core: ARM® 32-bit Cortex®-M0+ with MPU
 - From 32 kHz up to 32 MHz max.
 - 0.95 DMIPS/MHz
- Reset and supply management
 - Ultra-safe, low-power BOR (brownout reset) with 5 selectable thresholds
 - Ultra-low-power POR/PDR
 - Programmable voltage detector (PVD)
- Clock sources
 - 1 to 25 MHz crystal oscillator
 - 32 kHz oscillator for RTC with calibration
 - High speed internal 16 MHz factory-trimmed RC (+/- 1%)
 - Internal low-power 37 kHz RC



- Support contrast adjustment
- Support blinking mode
- Step-up converted on board
- Rich Analog peripherals
 - 12-bit ADC 1.14 Msps up to 16 channels (down to 1.65 V)
 - 2 x 12-bit channel DACs with output buffers (down to 1.8 V)
 - 2x ultra-low-power comparators (window mode and wake up capability, down to 1.65 V)
- Up to 24 capacitive sensing channels supporting touchkey, linear and rotary touch sensors
- 7-channel DMA controller, supporting ADC, SPI, I2C, USART, DAC, Timers
- 11x peripheral communication interfaces
 - 1x USB 2.0 crystal-less, battery charging detection and LPM
 - 4x USART (2 with ISO 7816, IrDA), 1x UART (low power)

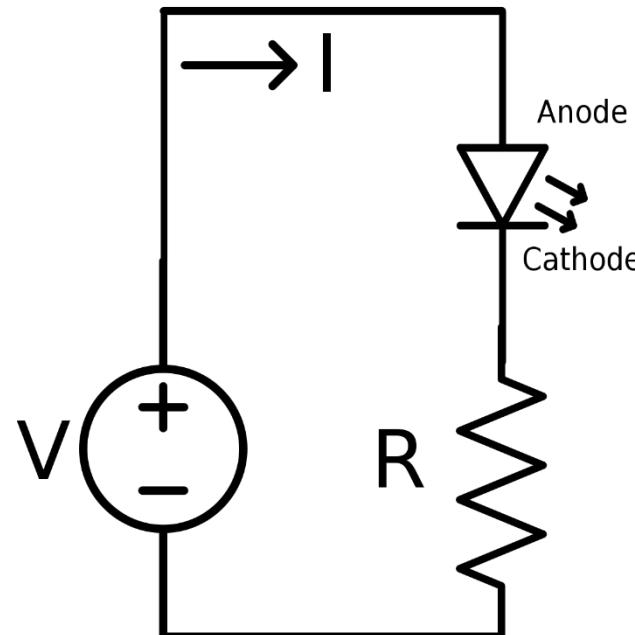
Test Cal Power

**Table 5. Functionalities depending on the working mode
(from Run/active down to standby) (continued)⁽¹⁾⁽²⁾**

IPs	Run/Active	Sleep	Low-power run	Low-power sleep	Stop		Standby
					Wakeup capability	Wakeup capability	
DAC	O	O	O	O	O		--
Temperature sensor	O	O	O	O	O		--
Comparators	O	O	O	O	O	O	--
16-bit timers	O	O	O	O	--		--
LPTIMER	O	O	O	O	O	O	
IWDG	O	O	O	O	O	O	O
WWDG	O	O	O	O	--		--
Touch sensing controller (TSC)	O	O	--	--	--		--
SysTick Timer	O	O	O	O			--
GPIOs	O	O	O	O	O	O	2 pins
Wakeup time to Run mode	0 µs	0.36 µs	3 µs	32 µs	3.5 µs		50 µs
Consumption V _{DD} =1.8 to 3.6 V (Typ)	Down to 140 µA/MHz (from Flash memory)	Down to 37 µA/MHz (from Flash memory)	Down to 8 µA	Down to 4.5 µA	0.4 µA (No RTC) V _{DD} =1.8 V	0.28 µA (No RTC) V _{DD} =1.8 V	
					0.8 µA (with RTC) V _{DD} =1.8 V	0.65 µA (with RTC) V _{DD} =1.8 V	
					0.4 µA (No RTC) V _{DD} =3.0 V	0.29 µA (No RTC) V _{DD} =3.0 V	
					1 µA (with RTC) V _{DD} =3.0 V	0.85 µA (with RTC) V _{DD} =3.0 V	

Test Cal Power

Batt 320mAh ใช้ได้นาน?



เอา MCU มาควบคุม

MCU Sleep กินไฟ 0.29uA

1 sec ตีนมา 10msec กระพริบไฟ

100% 1Sec = 1000msec

990 mSec -> Sleep 0.29uA

10mSec -> 140 uA + 3mA -> 3.14mA

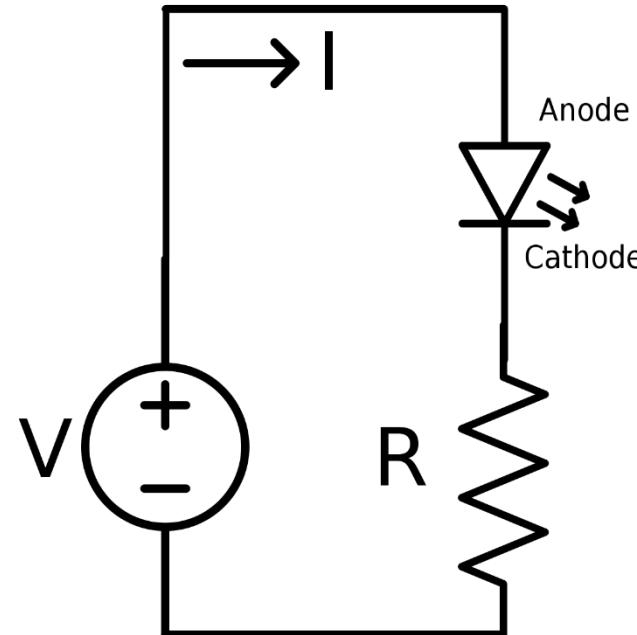
Cal Duty

99% $0.99 \times 0.29\text{uA} \rightarrow 0.2871\text{uA}$

1% $0.01 \times 3.14\text{mA} \rightarrow 31.4\text{uA}$

Test Cal Power

Batt 320mAh ใช้ได้นาน?



Cal Duty

$$99\% \quad 0.99 \times 0.29\mu\text{A} \rightarrow 0.2871\mu\text{A}$$

$$1\% \quad 0.01 \times 3.14\text{mA} \rightarrow 31.4\mu\text{A}$$

$$100\% \quad 0.2871 + 31.4 \rightarrow 31.69\mu\text{A}$$

Power current flow 0.03169mA

Batt 320mAh ใช้ได้นาน?

$$10097\text{ชม} = 420\text{วัน!!!}$$

Test Cal Power

Web Application Convert

แปลง A และ hours เป็น mAh

<https://convert-formula.com/a-h-mAh>

แปลง mAh เป็น hours

<https://convert-formula.com/mah-hours>

Convert amps (A) and hours (h) to mAh (milliamper-hours)

Insert the current in Amps (A) and the time in hours that the current was flowing for, and then click on Calculate to obtain milliamper-hours (mAh):

Current: A
Duration: Hours

Result: mAh

The formula is $(A) \cdot (h) \cdot 1000 = (\text{mAh})$. For example, if you have a current of 3A running for 5 hours, the number of mAh is $3A \cdot 5h \cdot 1000 = 15000\text{mAh}$.

Convert mAh to A (milliamper-hours to Amps)

To convert mAh to A you need to know the duration in hours that the current was flowing for. Insert the mAh below, then insert the time duration in hours and then click on Calculate to obtain Amps:

mAh: mAh
Duration: Hours

Result: A

The formula is $(A) = (\text{mAh}) / ((h) \cdot 1000)$. For example, if you have 15000mAh running for 5 hours, the current in Amps is $15000\text{mAh} / (5h \cdot 1000) = 3\text{A}$.

[Other Conversions](#)

Convert mAh (milliamphours) to time in hours

To calculate how many hours a certain mAh lasts, you need to know either the **current**, or the **voltage** and **watts**:

First, fill in this box with your mAh:
 mAh

Then fill in the **current** and click on **Calculate**, OR fill in the **voltage** and **watts** and click on **Calculate**.

Current: Amps

10097.82265698956 Hours

OR

Voltage: Volts
Watts: Watts

1.6 Hours

The formula is $(\text{mAh}) / (\text{Amps} \cdot 1000) = (\text{hours})$. For example, if you have a 3000 mAh battery that runs at 0.2 Amps ($0.2\text{Amps} = 200\text{mA}$), then the time that the battery will last for is $(3000) / (0.2 \cdot 1000) = (3000) / (200) = 15$ Hours.

If instead of the current you have voltage and watts, then the formula is $(\text{mAh} \cdot \text{Volts}) / (\text{Watts} \cdot 1000) = (\text{hours})$. For example, if you have a 3000 mAh battery that runs at 5 Volts and 15 Watts, then the time that the battery will last for is $(3000 \cdot 5) / (15 \cdot 1000) = 1$ Hours.

Energy consumption Technique

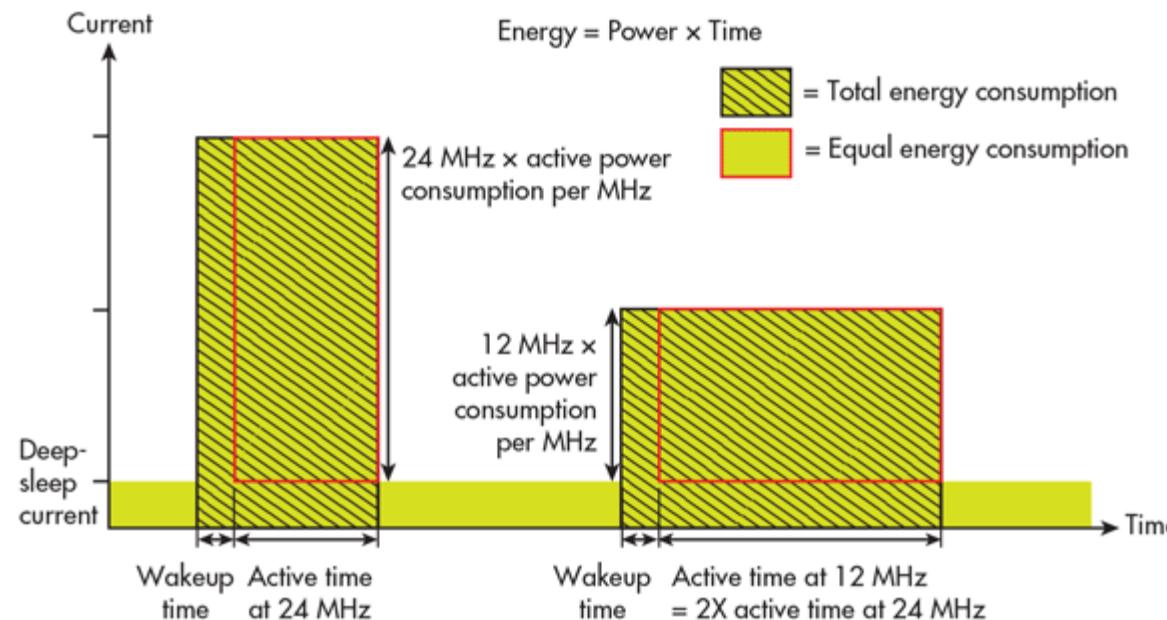
Power consumption

ลดการใช้พลังงาน

- เลือกใช้ MCU ที่สามารถ Sleep ได้ตาม Spec
- ใช้ความเร็วของ CPU ให้เหมาะสมกับงาน

ความถี่ต่ำ = ความเร็วต่ำ = กินพลังงานต่ำ

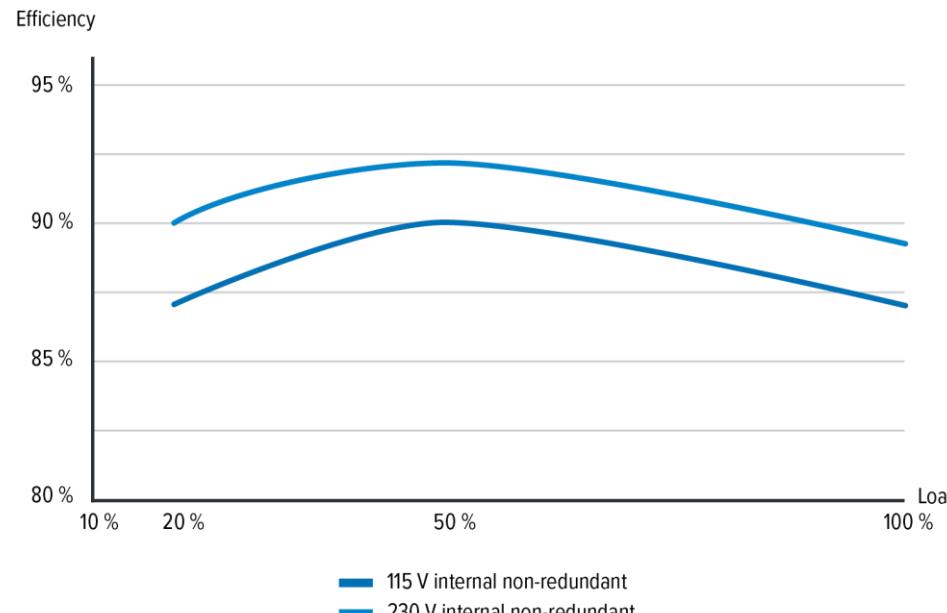
`setCpuFrequencyMhz(80);`



Power consumption

ลดการใช้พลังงาน

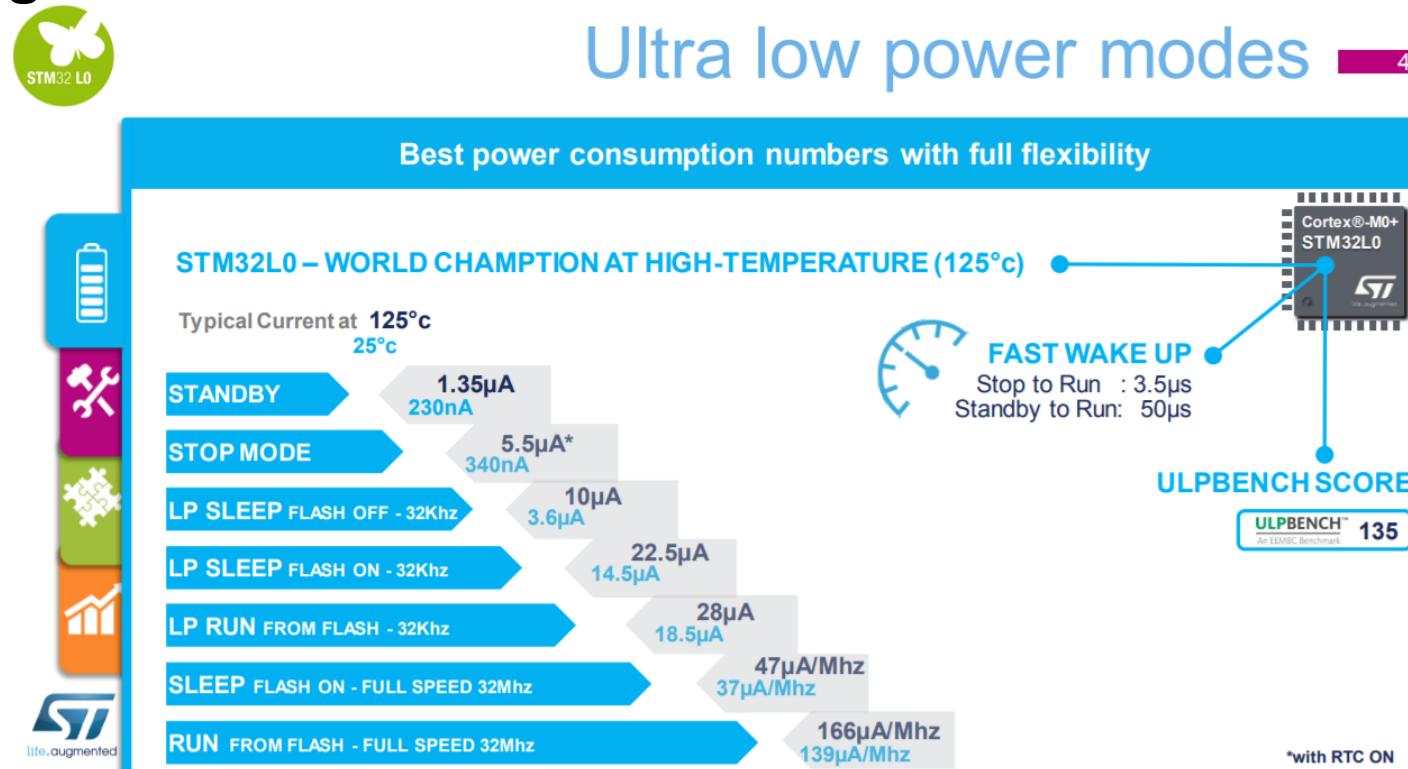
3. เขียน Firmware แบบใช้ Timer interrupt ใช้ interrupt
ในการปลุกจาก sleep มาทำงาน
4. เลือกใช้ Supply ที่เหมาะสมกับงาน มีการสูญเสียพลังงานต่ำ



Power consumption

ลดการใช้พลังงาน

5. ปิดการทำงานของ module ภายใน mcu ได้ถ้าไม่ได้ใช้งาน
6. เลือกใช้ component ที่การกินไฟต่ำ และสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบ



Reference

1. The Official ESP32 Book, Dogan Ibrahim. Ahmet Ibrahim, Elektor Publication Inc.
2. Kolban's Book on ESP32, Neil Kolban, Leanpub is copyright
3. ESP32 Techinal Reference Manual, Espressif System Copyright 2020,
https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf
4. <https://www.embedded.com/introduction-to-watchdog-timers/>
5. <https://www.instructables.com/Catch-and-Now/>
6. <https://www.n-redc.co.jp/en/faq/013.html>
7. <https://www.microchip.com/design-centers/8-bit/peripherals/core-independent/windowed-watch-dog-timer>
8. <https://electronics.stackexchange.com/questions/216999/windowed-watchdog-timer/217001>