Ανάπτυξη Συστήματος Επιτήρησης και Καταγραφής Ηλεκτρικής Ενέργειας

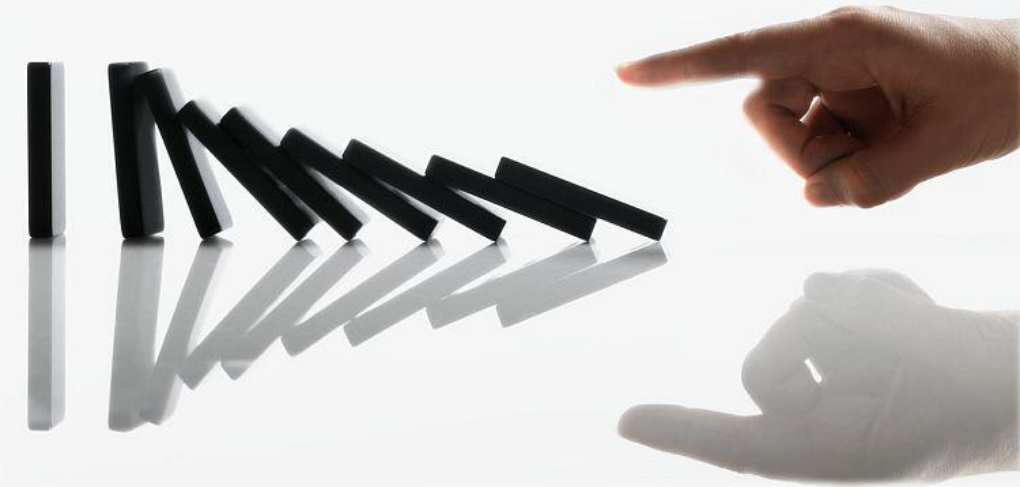
Διπλωματική Εργασία
της
Αντωνάκη Ελένης

Επιβλέπων Καθηγητής: Κωνσταντίνος Ψάννης

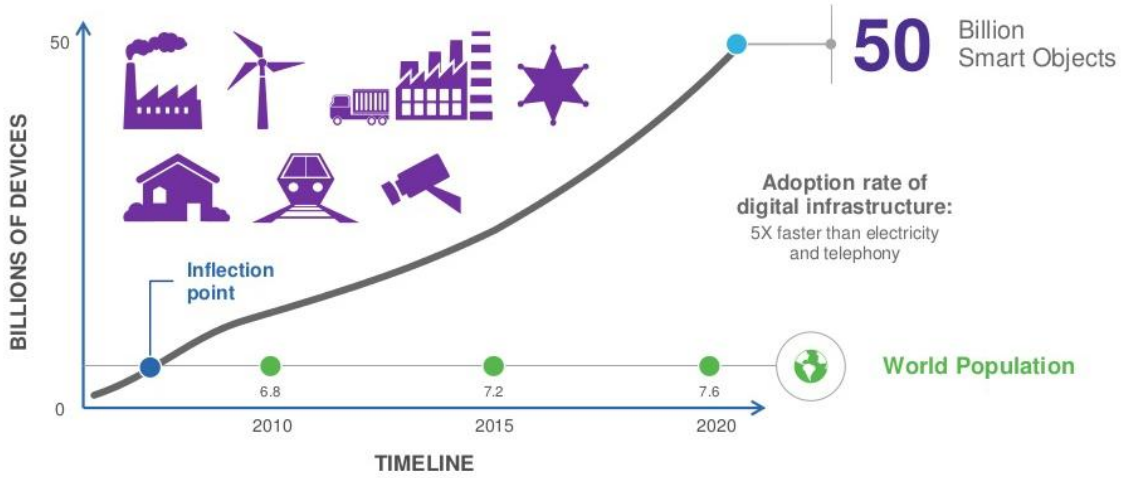
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Internet of Things

Αποτέλεσμα;



Η εξέλιξη με αριθμούς…



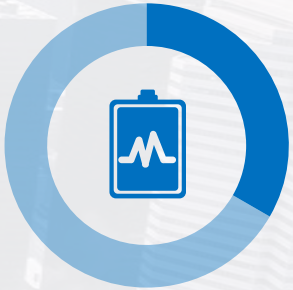
Έξυπνο Σπίτι

Ως όρος «Έξυπνο σπίτι» μπορεί να περιγραφεί οποιοδήποτε προσωπικό ή εργασιακό περιβάλλον που περικλείει ένα σύνολο τεχνολογικών εφαρμογών με κύριο χαρακτηριστικό την αυτοματοποίηση και τον έλεγχο των επιμέρους τμημάτων του.

Ενεργειακή Κατανάλωση

Οι απαιτήσεις για ενέργεια στον οικιακό τομέα, αλλά και σε όλους τους τομείς τις οικονομίας ολοένα και αυξάνονται με υψηλό ρυθμό.

Πρόβλεψη για αύξηση της παγκόσμιας χρήσης ενέργειας κατά σχεδόν 1/3 έως το 2040



Η τάση παρατηρείται κατά κύριο λόγο στις μεγαλουπόλεις των ανεπτυγμένων χωρών, όπου το 20% με 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας πραγματοποιείται σε κτήρια.

Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου

PLC (Power Line Communication/Carrier)

Επικοινωνία μέσω της γραμμής μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος

Bus (European Installation Bus (EIB))

Επικοινωνία βασισμένη σε ανεξάρτητη καλωδίωση

Instabus KNX της Siemens, το Smart - House της Carlo Gavazzi, το C-bus της Clipsal

IoT Υλοποιήσεις στην Ελλάδα

D-Link

SmartEnergy

Watt&Wolt

Οι έξυπνες συσκευές χρησιμοποιούν ασύρματη επικοινωνία μέσω του πρωτοκόλλου ZigBee με ένα κεντρικό Gateway δηλαδή έναν κεντρικό δίαυλο επικοινωνίας.

Υλοποίηση Συστήματος

- Open Source έργο ανοιχτού κώδικα
- Επεκτάσιμο με σημαντικές προοπτικές εξέλιξης
- Καθολική χρήση για την εξοικονόμηση ενέργειας
- Ομαλή και διαφανής επικοινωνία με άλλα συστήματα
- Πληθώρα επιλογών σε επίπεδο υλικού που παρουσιάζουν συμβατότητα όσον αφορά τα προγράμματα λογισμικού

Μεθοδολογία

4 Στάδια Ανάπτυξης

- Πειραματικές Υλοποιήσεις
- Εξαγωγή δεδομένων και ανάλυση σε επίπεδο ποιότητας και ακρίβειας
- Επιλογή Υλικών για το τελικό σύστημα

1ο Στάδιο

- Αρχιτεκτονική συστήματος
- Τεχνολογίες για την επικοινωνία των επιμέρους συστημάτων
- Ιδέα ενός κεντροποιημένου συστήματος στη βάση μιας πλατφόρμας

2ο Στάδιο

- Υλοποίηση εφαρμογής συστήματος
- Επιλογή αρχιτεκτονικού πρότυπου για την πλατφόρμα
- Επεξεργασία συλλογής δεδομένων, δημιουργία στατιστικών γραφημάτων

3ο Στάδιο

- Μελέτη των επεκτάσεων
- Ανάλυση ενεργειακών συνηθειών του καταναλωτή
- Προτάσεις ενεργειακών σεναρίων

4ο Στάδιο

Μικροελεγκτές

(Single Boards)

Arduino Uno R3

Arduino Software (IDE)

Wemos D1 Mini

Το Arduino είναι βασισμένο σε μία απλή μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα με ενσωματωμένο microcontroller τον ATmega328P

Το wemos D1 είναι ένας ESP-8266 μικροελεγκτής με δυνατότητες Wi-Fi.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά

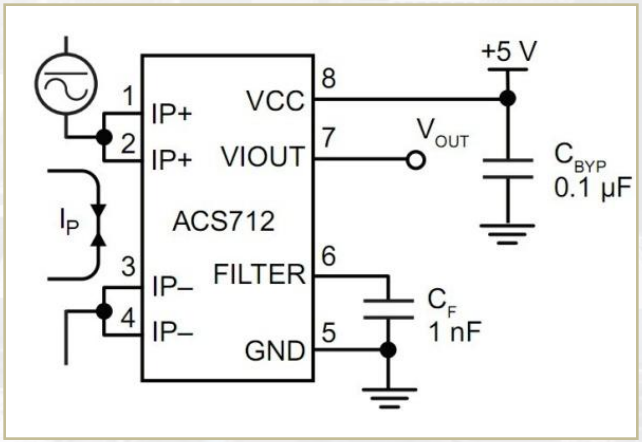
	Arduino Uno Rev 3	Wemos D1 Mini
Μικροελεγκτής	ATmega328	ESP-8266EX
Επεξεργαστής	8-bit AVR/16 MHz	32-bit MCU 80/160MHz
Τάση Λειτουργίας	5V	3.3V
Ψηφιακοί Είσοδοι/Έξοδοι	14 (6 PWM έξοδοι)	11 (9 PWM έξοδοι)
Αναλογικές Είσοδοι	6 (ADC - 10bit)	1 (ADC - 10bit)
Μνήμη Flash	32KB (ATmega328)	4M bytes
Ασύρματη Σύνδεση	Extra module	Wi-Fi 802.11 b/g/n
Διαστασεις (Μ/Π)	68.6 x 53.4 mm	34.2 x 25.6 mm

Αισθητήρες Ρεύματος

ACS712

Οικονομικός αισθητήρας μέτρησης έντασης ρεύματος

Έξοδος του αισθητήρα 66mV/A



Αισθητήρες Ρεύματος

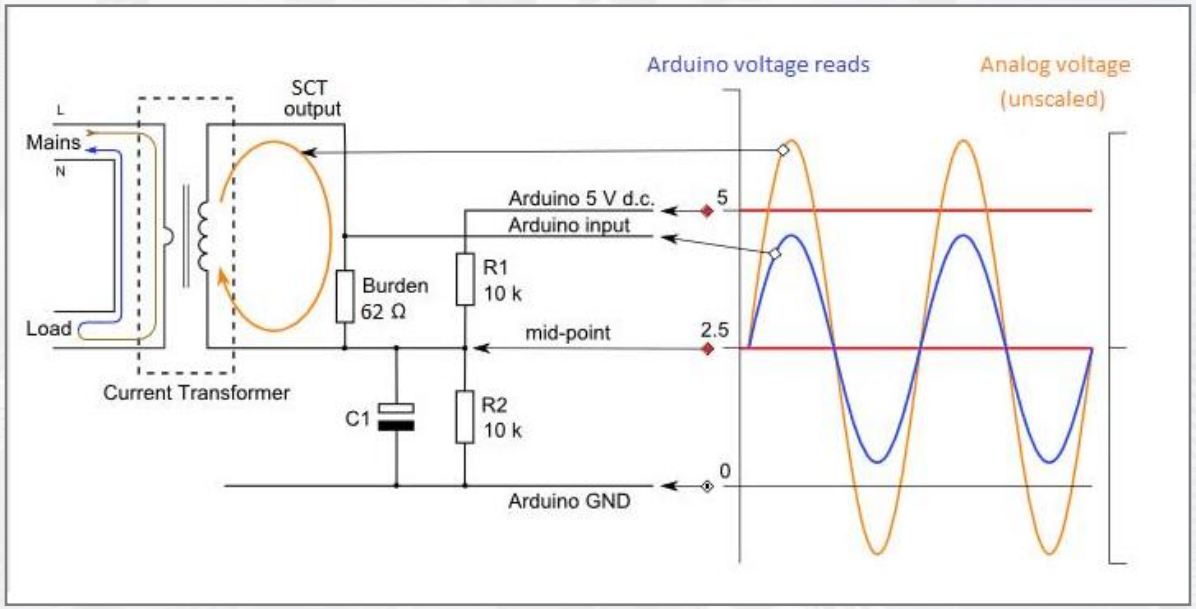
SCT030

non-invasive αισθητήρας μέτρησης έντασης ρεύματος

- Input Current: 0~30A AC
- Output Mode: 0~1V
- Non-linearity: ±1%
- Build-in sampling resistance (RL): 62Ω
- Turn Ratio: 1800:1
- Work Temperature: -25°C ~ + 70°C

Σχηματικό διάγραμμα κυκλώματος

STC013-30

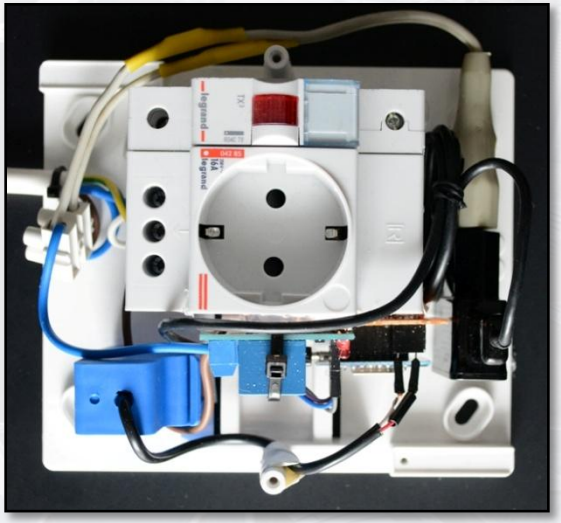


Διάταξη

που θα δεχθεί τα ηλεκτρονικά κυκλώματα

Ηλεκτρολογικός
Επίτοιχος Πίνακας

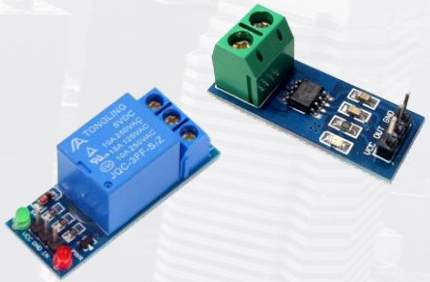
Για λόγους προστασίας και για τη διευκόλυνση της διεξαγωγής των πειραμάτων αποφασίστηκε τα ηλεκτρονικά κυκλώματα να ενσωματωθούν σε ένα ηλεκτρολογικό επίτοιχο πίνακα μίας σειράς και με δυνατότητα χρήσης έως έξι στοιχείων (θέσεων).



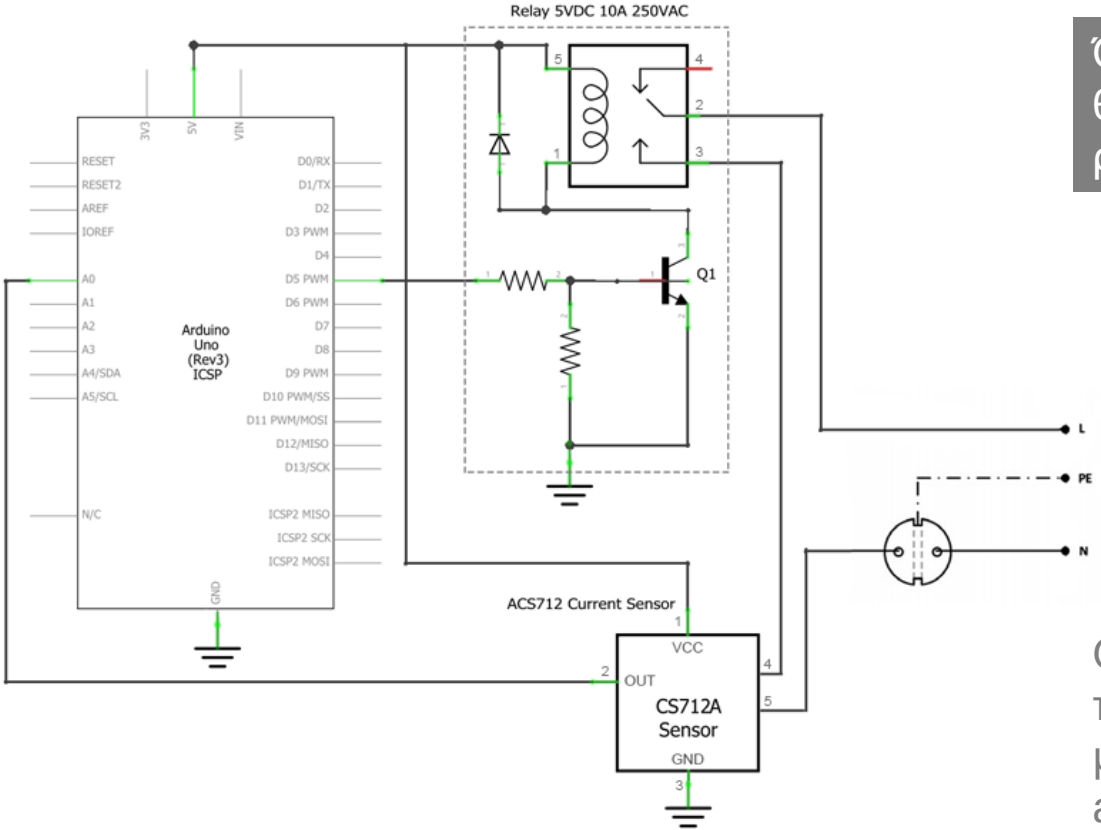
Ενσωματώθηκαν μια πρίζα (σούκου) και μία ενδεικτική λυχνία.

1η Πειραματική Διάταξη

- Πλατφόρμα μικροελεγκτή : Arduino UNO R3
- Αισθητήρας έντασης ρεύματος: ASC712
- Ηλεκτρονόμος: 5V 1 channel Relay



- Φορτίο μεταβολής ισχύος: συσκευή στεγνώματος μαλλιών, αερόθερμο, καφετιέρα, αφυγραντήρας
- Λογισμικό εφαρμογής: Arduino Software (IDE)



Όταν ενεργοποιηθεί ο ηλεκτρονόμος θα τροφοδοτήσει τον αισθητήρα ρεύματος.

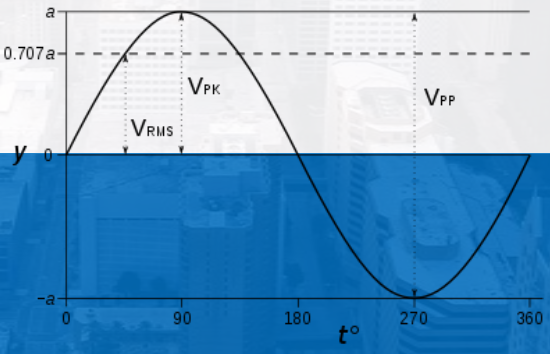
Παροχή μονοφασικού Ηλεκτρικού ρεύματος

Ο αισθητήρας ACS 712 τροφοδοτεί την αναλογική είσοδο (A0) του μικροελεγκτή με τάση 66 mV ανά κάθε ampere που διαρρέει το εναλλασσόμενο κύκλωμα.

Ενεργός Τιμή (RMS)

Μέτρηση Εναλλασσόμενου Ρεύματος

Η ενεργός τιμή ενός σήματος ή αλλιώς RMS τιμή από το Root Mean Square, είναι μία ένδειξη του πλάτους ενός σήματος.
Βρίσκει εφαρμογή κυρίως σε εναλλασσόμενα μεγέθη, δηλαδή ποσότητες που άλλοτε είναι αρνητικές και άλλοτε θετικές.



$$V_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times V_{\max}$$

```
const int sensorIn = A0;
int mVperAmp = 66;   // 66 for 1A Module
double VRMS = 0;
double AmpsRMS = 0;
double Voltage = 0;
double Watts = 0;
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    pinMode(5, OUTPUT);
    digitalWrite(5, HIGH); // Turns ON Relays 1
    delay(1000);
}
```

Δήλωση των μεταβλητών

```
void loop()
{
    Voltage = getVPP();
    VRMS = (Voltage / 2.0) * 0.707;  //root 2 is 0.707
    AmpsRMS = (VRMS * 1000) / mVperAmp;
    if (AmpsRMS <= 0.02) AmpsRMS = 0;
    Watts = AmpsRMS * 220;
    Serial.print(" Amps RMS = ");
    Serial.print(AmpsRMS);
    Serial.print(" \t Watts = ");
    Serial.println(Watts);
    delay(2500);
}
```

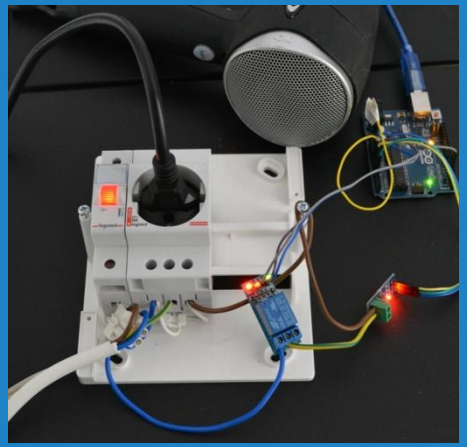
Υπολογισμός της RMS τάσης και της έντασης ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα

```
float getVPP()
{
    float result;
    int readValue;             // value read from the sensor
    int maxValue = 0;          // store max value here
    int minValue = 1024;       // store min value here
    uint32_t start_time = millis();
    while ((millis() - start_time) < 1000)  // sample for 1 Sec
    {
        readValue = analogRead(sensorIn);
        if (readValue > maxValue)
        {
            maxValue = readValue; /*record the maximum sensor value*/
        }
        if (readValue < minValue)
        {
            minValue = readValue; /*record the minimum sensor value*/
        }
    }
result = ((maxValue - milnVaue) * 5.0) / 1024.0;
    return result;
}
```

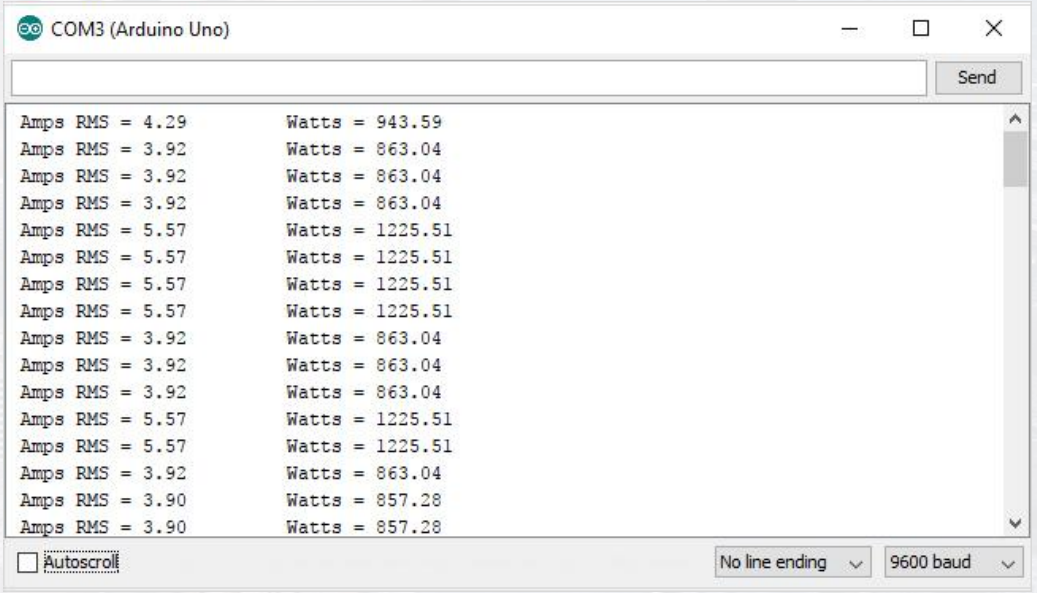
Η συνάρτηση αυτή για 1 sec, παίρνει δειγματοληπτικές τιμές της τάσης του αισθητήρα προκειμένου να προσδιοριστεί μια τιμή τάσης (vpp) και να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια στα ποσοστά της μέτρησης.

5000mV/1024 = 4.8mV

Στιγμιότυπο Καταγραφής



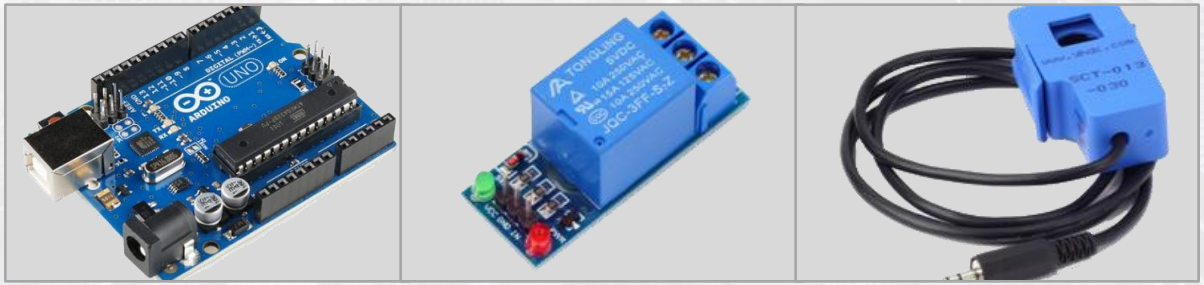
Οι διακυμάνσεις της κατανάλωσης που γίνονται αντιληπτές οφείλονται στα διάφορα σενάρια χρήσης της συσκευής που εφαρμόστηκαν και διαμόρφωσαν τις συνθήκες μέτρησης.



2η Πειραματική Διάταξη

Στη δεύτερη πειραματική διάταξη προχωρήσαμε στην αλλαγή του αισθητήρα μέτρησης έντασης ρεύματος και συγκεκριμένα στη χρήση του SCT013-30

Για να είναι εφικτή η ανάγνωση της τάση εξόδου του SCT013-30 από τον μικροελεγκτή ATmega 328P του arduino θα πρέπει να γίνει η μετατροπή της στα όρια των αναλογικών σημάτων που μπορεί να μετρήσει ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής.



2η Πειραματική Διάταξη

• Το εύρος τιμών των αναλογικών σημάτων που μπορεί να διαβάσει ο μικροελεγκτής ATmega 328P είναι από 0 -5 Volt.

• Προχωρήσαμε στη σύνδεση ενός διαιρέτη τάσης, προσθέτοντας στην τάση εξόδου του μια DC συνιστώσα με τιμή 2.5 Volt.

• Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η προσαρμογή της τάσης σε όλο το αποδεκτό εύρος τιμών, το οποίο κυμαίνεται από 1.5 έως 3.5 Volt.

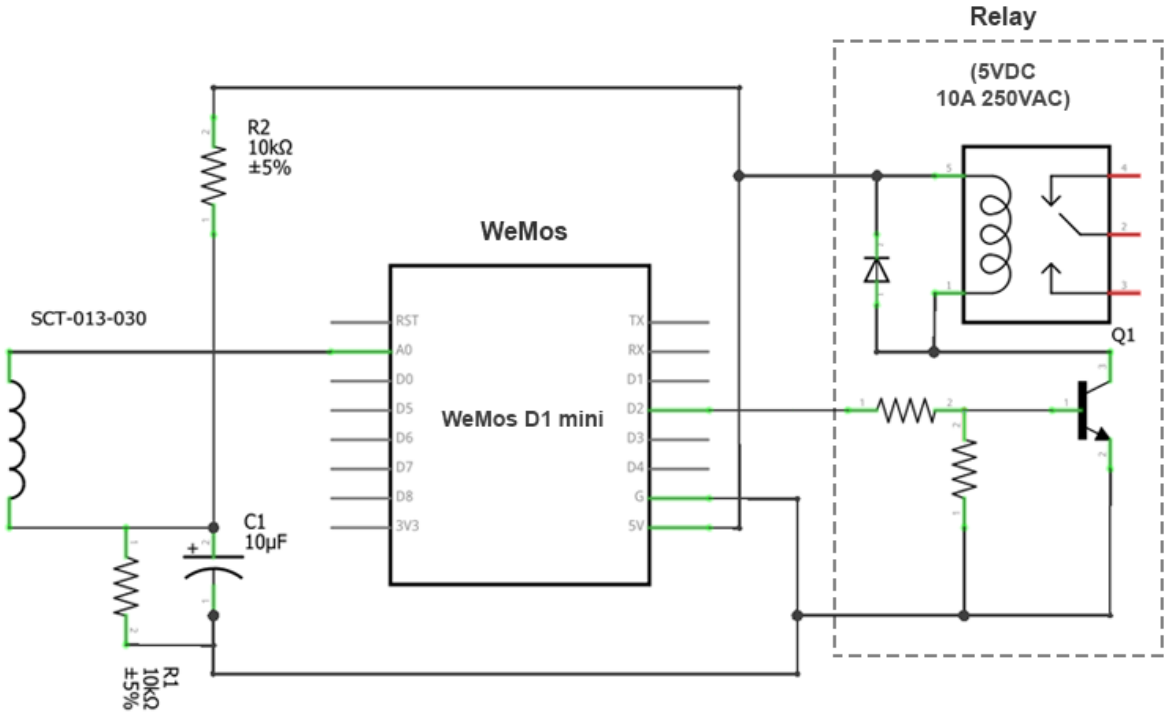
Μία διακύμανση που προκύπτει αν λάβουμε υπόψη την έξοδο του αισθητήρα που είναι από -1 έως +1 Volt peak to peak (Vpp) για μετρήσεις από 0-30A. εναλλασσόμενου ρεύματος.

3η Πειραματική Διάταξη

• Σε αυτό το σενάριο χρησιμοποιήθηκε το wemos mini D1 με εύρος τιμών αναλογικών σημάτων από 0-3.3Volt

• Κρατήσαμε από το προηγούμενο σενάριο τη σύνδεση με τον ίδιο διαιρέτη τάσης

• Η εφαρμογή της DC συνιστώσας με τιμή 2.5V, μας δίνει τη δυνατότητα να μετρήσουμε μια διακύμανση +-0.8 Volt p-p, παίρνοντας ελάχιστη και μέγιστη τιμή 1.7 και 3.3 (+-24A περίπου)


Relay
(5VDC
10A 250VAC)
R2
10kΩ
±5%
WeMos
SCT-013-030
RST
A0
D0
D5
D6
D7
D8
3V3
TX
RX
D1
D2
D3
D4
G
5V
WeMos D1 mini
Q1
C1
10µF
R1
10kΩ
±5%

Επιλογή Τελικών Υλικών

Μικροελεγκτής

Επιλογή του Wemos D1 mini

Παράγοντες που κατείχαν σημαντικό ρόλο στην απόφαση μας για τη χρήση του στο τελικό σύστημά:

- **Κόστος**
- **Μέγεθος**

WiFi Shield V3 for Arduino

Επιπλέον module για ασύρματη σύνδεση

Επιλογή Τελικών Υλικών

Αισθητήρας Έντασης Ρεύματος

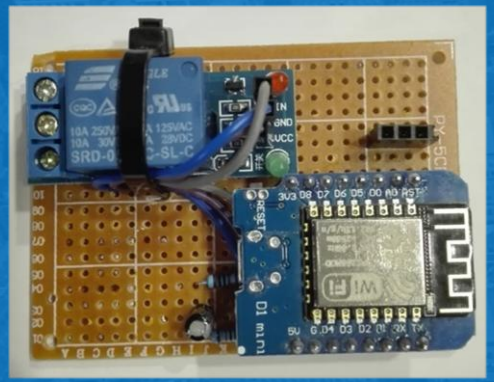
Επιλογή του Sct013-30

Παράγοντες που κατείχαν σημαντικό ρόλο στην απόφαση μας για τη χρήση του στο τελικό σύστημά:

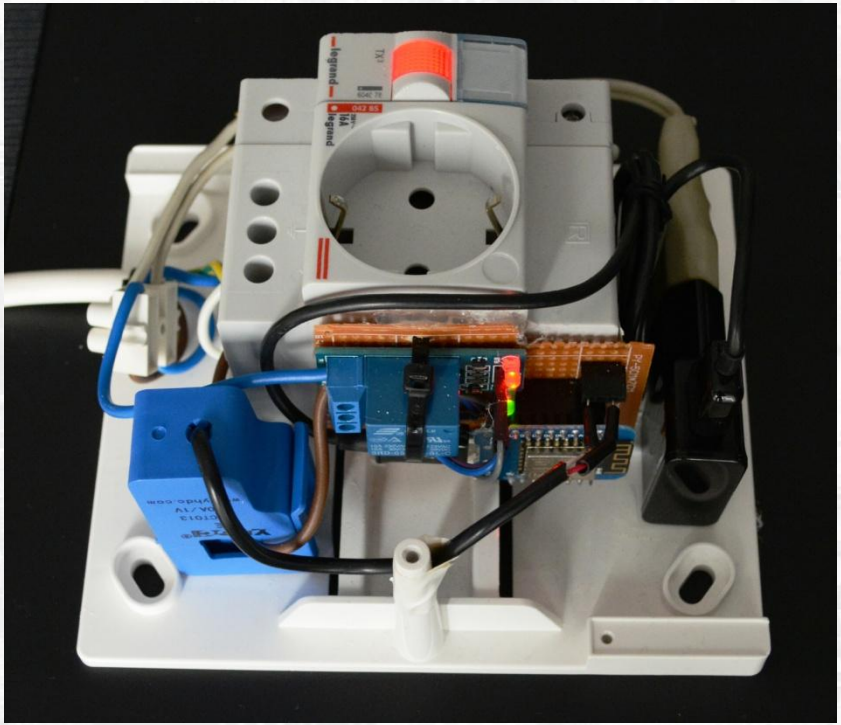
- **Μεγαλύτερη Ασφάλεια**
- **Μέτρηση Μεγαλύτερων Εντάσεων**

Υπάρχει έκδοση του αισθητήρα για μέτρηση μέχρι 100 A

Τελική Διάταξη



Διάτρητη Πλακέτα



Διατάξεις Ελέγχου

Χρονοπρογραμματισμός

1η Εκδοχή

Δημιουργήθηκε ένα αρχείο json μέσα στο web server που διάβαζε το wemos και στο οποίο καταγραφόταν η ενέργεια on/off

2η Εκδοχή

Το wemos είχε το ρόλο του διακομιστή (λειτουργία web server).

3η Εκδοχή

Εφαρμογή του πρωτοκόλλου MQTT.

Διεξήχθησαν πειράματα βασισμένα στην αρχιτεκτονική client – server για να φτάσουμε στην τελική έκδοση βασισμένη στο πρωτόκολλο mqtt

MQTT

Publish/Subscribe Μοντέλο

Η αρχιτεκτονική είναι βασισμένη στο μοντέλο επικοινωνίας publish – subscribe (έκδοσης – συνδρομής).

Οι οντότητες που επικοινωνούν είναι εκδότες (publishers), είτε συνδρομητές (subscribers) ή και τα δύο. Η επικοινωνία γίνεται όταν οι publishers παράγουν μηνύματα τα οποία λαμβάνουν (καταναλώνουν) οι subscribers.

Την υλοποίηση της επικοινωνίας αναλαμβάνει μια ενδιάμεση οντότητα που ονομάζεται broker και είναι γνωστή τόσο στους εκδότες όσο και στους συνδρομητές.

Παράδειγμα

Topics

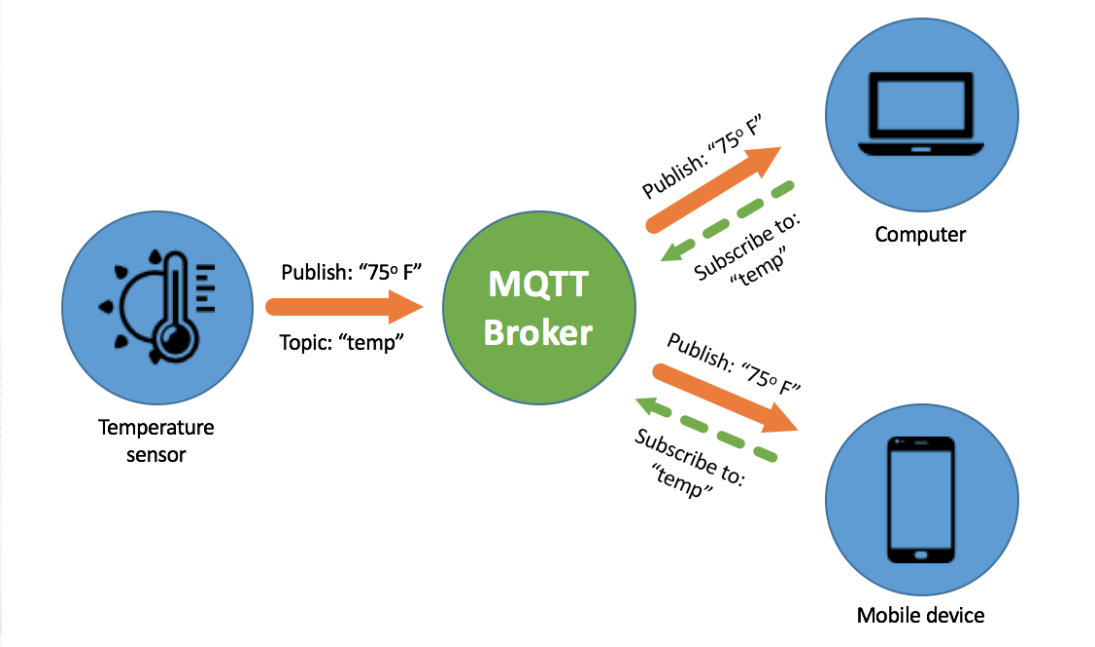
Home/livingroom/temp

Home/+/light_switch

Home/livingroom/#

Home/livingroom/humidity

Home/livingroom/light_switch



Επιπλέον Χαρακτηριστικά

Εγγύτητα Παράδοσης

- Ποιότητα παρεχόμενης υπηρεσίας (Quality of Services)

Ασφάλεια

- Πιστοποίηση (username, password)
- Κρυπτογράφηση
  - ❑ TLS (Transport Layer Security)
  - ❑ SSL (Secure Sockets Layer)

Εφαρμογή του MQTT

- Προσθήκη της βιβλιοθήκης PubSubClient.h

- Σε πρώτο στάδιο δημιουργούμε τον mqtt Client, του δηλώνουμε τον broker με τον οποίο θα συνδεθεί και την πόρτα.

- Η συνάρτηση void setup περιέχει την αρχικοποίηση των τιμών και την εγκαθίδρυση σύνδεσης για τη συσκευής μας στο δίκτυο

```
WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
```

```
client.setServer(mqtt_server, 1883);
```

```
void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length)
{
    Serial.print("Command from MQTT broker is : [");
    Serial.print(topic);
    Serial.print("], ");
    payload[length] = '\0';
    String message = (char*)payload;
    if (message == "0")
    {
        digitalWrite(CTRL_PIN, LOW);
        ACT_CTRL_PIN = false;
        Serial.println(" Turn Off CONTROLLER! ");
    }
    if (message == "1")
    {
        digitalWrite(CTRL_PIN, HIGH);
        ACT_CTRL_PIN = true;
        Serial.println(" Turn On CONTROLLER! ");
    }
    Serial.println();
}
```

callback() : υπεύθυνη για τη διαδικασία του προγραμματισμού ενεργοποίησης/απενεργοποίησης των συσκευών

```
void calcWatt ()
{
   //    float    or    double    watts;    client.publish(topic,
String(watts).c_str(), true);
   unsigned long currentMillis = millis();
   if (currentMillis - previousMillis >= delayMillis)
   {
      previousMillis = currentMillis;

      float  Irms  =  emon1.calcIrms(1480);  // Calculate  Irms
only
      float newWatts = Irms * 220;

      if (checkBound(newWatts, watts, dif_watts))
      {
         watts = newWatts;
         snprintf(data, 80, "%ld", (int)watts);
         Serial.print("New Power:");
         Serial.println(String((int)watts).c_str());
         client.publish(pubTopic, data, true);
      }
   }
}
```

```
float watts = 0.0;
float dif_watts = 4.0;
unsigned long previousMillis = 0;
const long delayMillis = 15000;  // 15sec
char data[80];
```

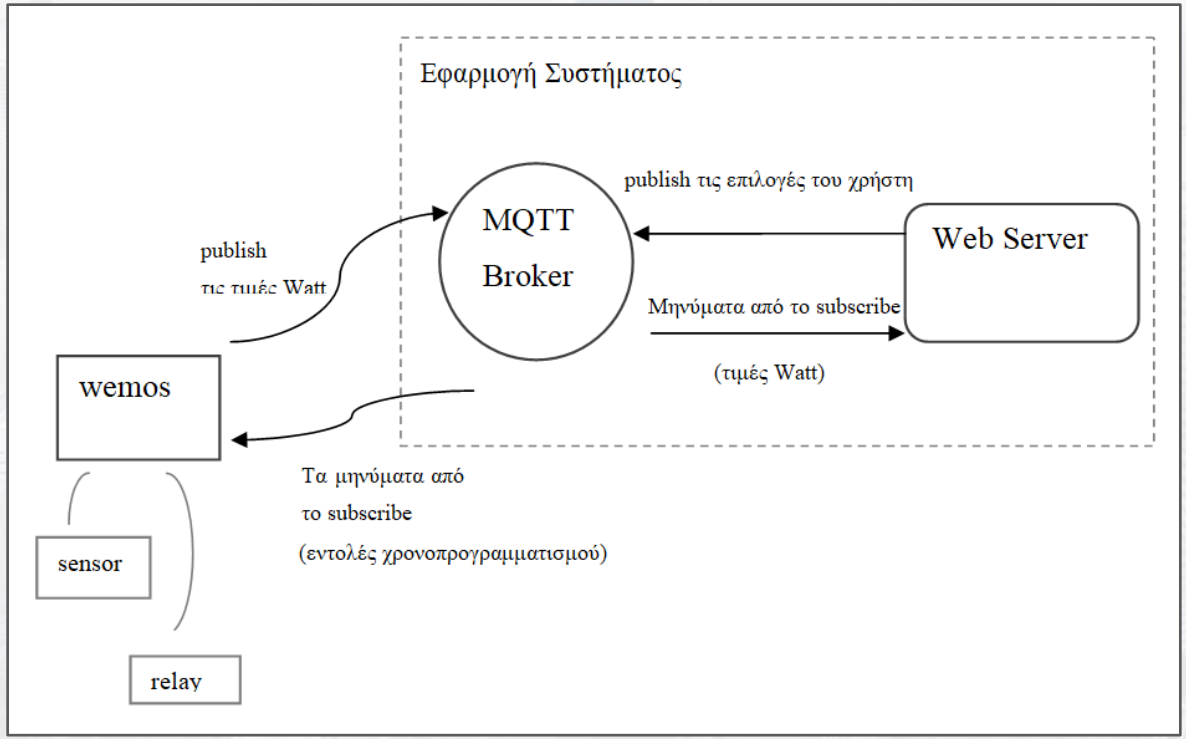
calcWatt() : υπεύθυνη για την ενημέρωση του broker με τις εγγραφές κατανάλωσης του ρεύματος των συσκευών

```
bool checkBound(float newValue, float prevValue, float maxDiff)
{
    return !isnan(newValue) && (newValue < prevValue - maxDiff ||
newValue > prevValue + maxDiff);
}
```

checkbound(): ελέγχει τη διακύμανση μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων.

Σε μικρές διακυμάνσεις ισχύος δεν αποστέλλονται οι τιμές στον broker αποφεύγοντας ένα σενάριο επιβάρυνσης του δικτύου με επιπλέον φόρτο.

Αρχιτεκτονική Συστήματος



Πλατφόρμα Συστήματος

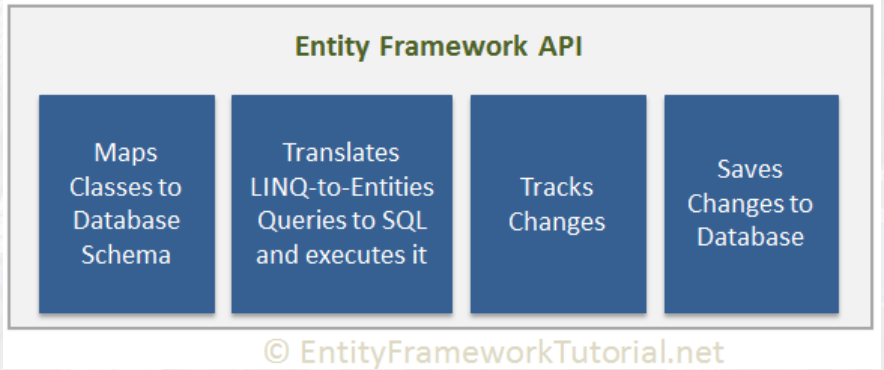
ASP.NET MVC

Το ASP.NET MVC δίνει τη δυνατότητα οικοδόμησης μιας web εφαρμογής ως σύνθεση τριών ρόλων καθένας από τους οποίους χειρίζεται ειδικές αναπτυξιακές πτυχές της αίτησης.

- **Model (μοντέλο):** ένα σετ από κλάσεις που περιγράφουν τα στοιχεία με τα οποία εργάζεται η εφαρμογή (λογική προσπέλαση των δεδομένων)
- **View (όψη):** ορίζεται το πώς πρέπει να είναι το περιβάλλον διεπαφής της εφαρμογής (λογική της παρουσίασης)
- **Controller (ελεγκτής):** ένα σετ από κλάσεις οι οποίες διαχειρίζονται την επικοινωνία του χρήστη, τις αλληλεπιδράσεις, την ενημέρωση του μοντέλου και ουσιαστικά τη συνολική ροή πληροφορίας της εφαρμογής

Entity Framework (EF)

Το Entity Framework είναι ένα ανοιχτού κώδικα Object/Relational Mapping (ORM) (αντικειμενοστρεφές) framework, το οποίο παρέχει μία χαρτογράφηση από το σχεσιακό σχήμα της βάσης δεδομένων σε αντικείμενα υποστηρίζοντας την ανάπτυξη εφαρμογών λογισμικού δεδομένων.



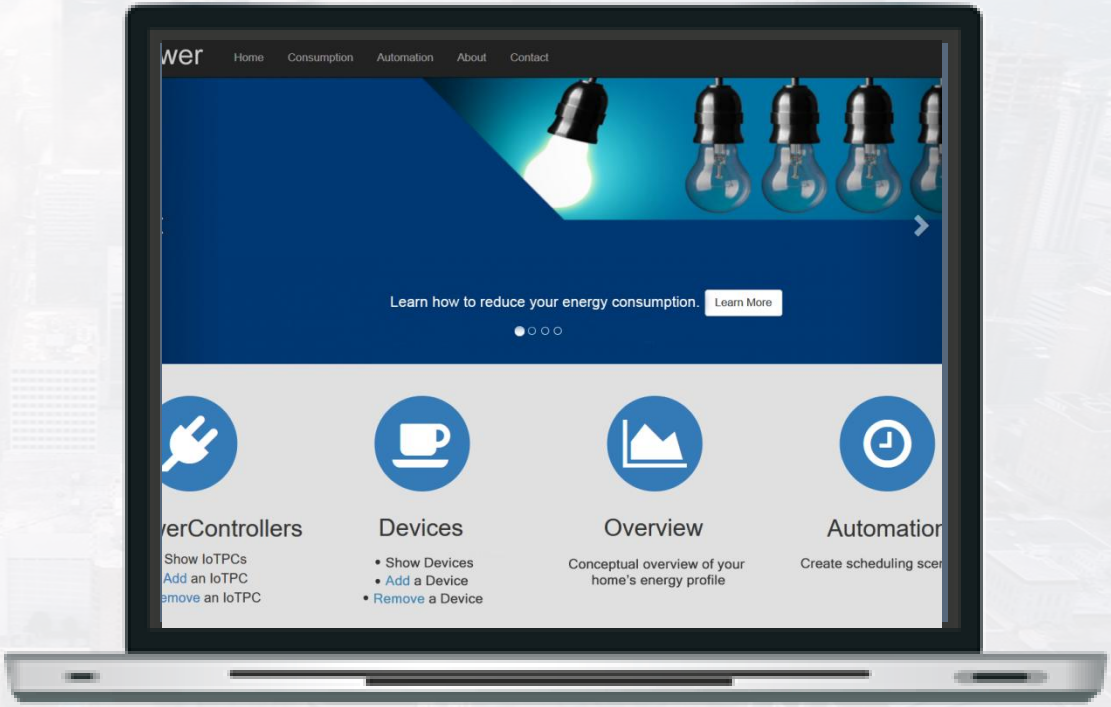
JPA
Hibernate ORM

Example Linq

Εμφάνιση τελευταίας μέτρησης

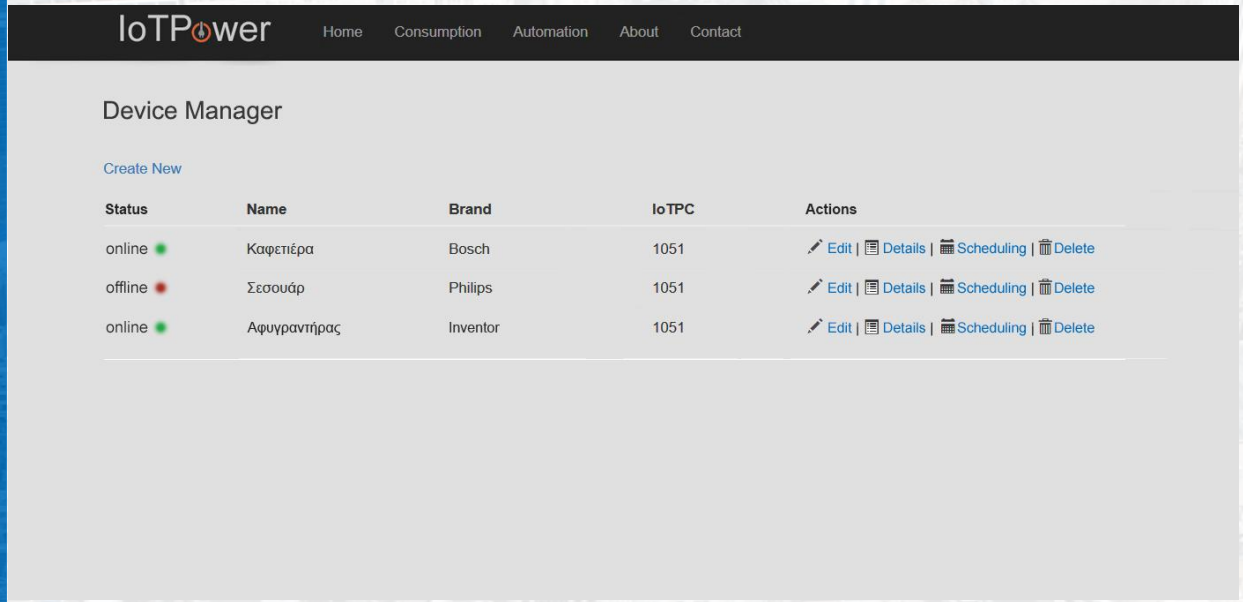
```
public ConsumptionSet MostRecentSet(int deviceid)
        {
            var recent = new ConsumptionSet();

            var epower = _context.ConsumptionsDetails
                .Where(m => m.DeviceID == deviceid)
                .Select(m => m).
                OrderByDescending(m => m.CreateTimestamp).First();
                if (epower != null)
                {
                    recent.MeasuredDate = epower.CreateTimestamp;
                    recent.ElectricPower = epower.Psum;
                }
            return recent;
        }
```

Παρουσίαση Πλατφόρμας



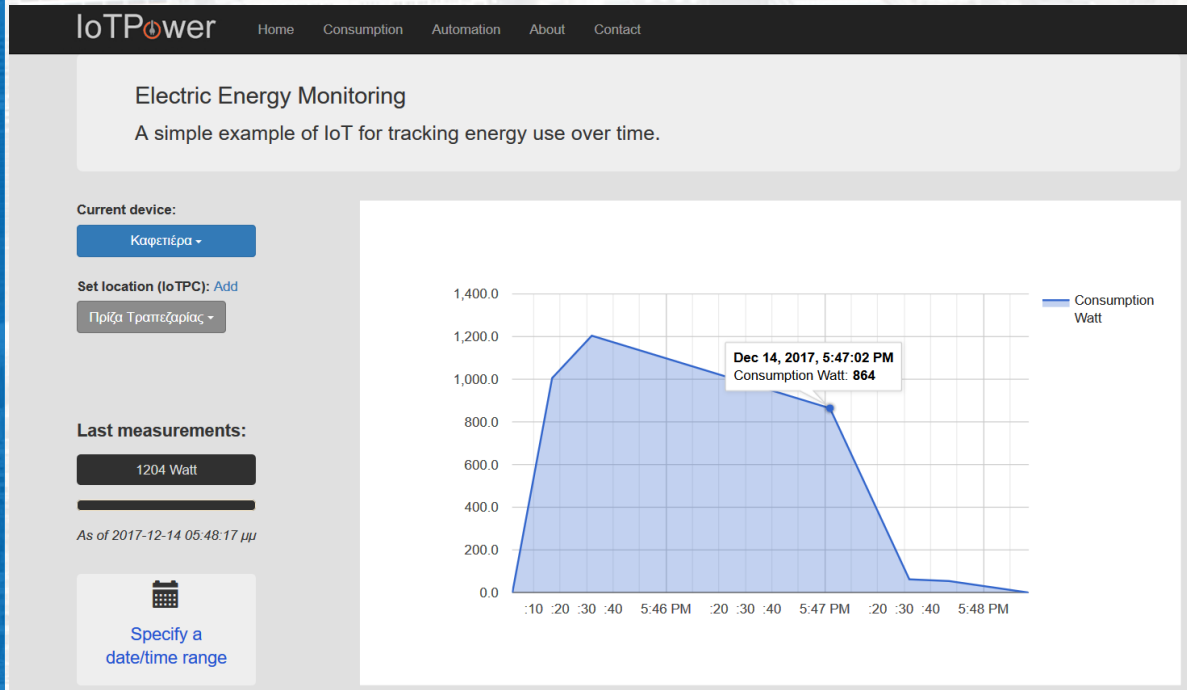
Διαχείριση οικιακών συσκευών

Κάθε συσκευή συνδέεται με έναν ελεγκτή IoTPController



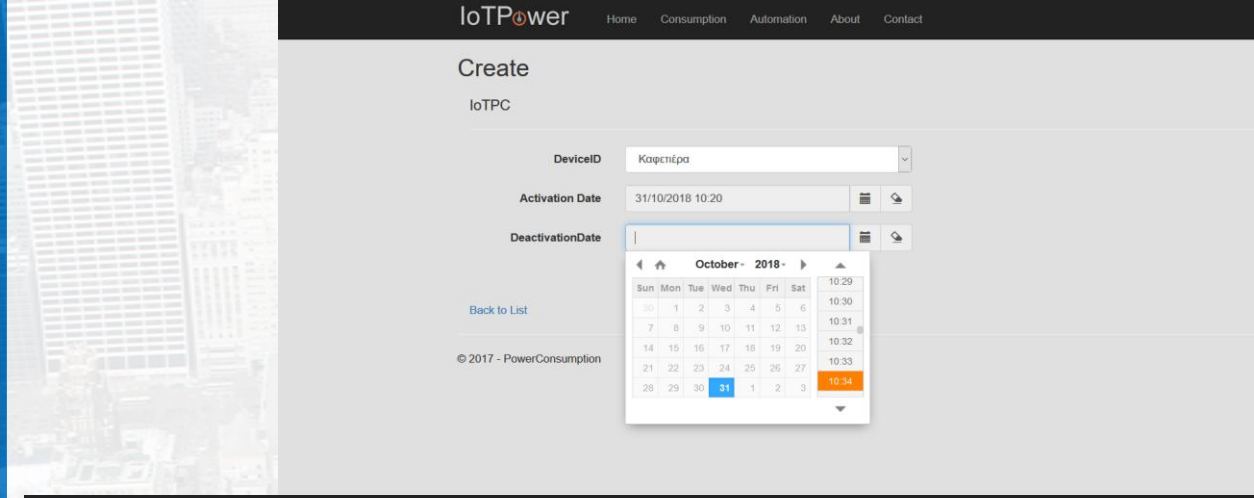
Διάγραμμα ημερήσιας κατανάλωσης της συσκευής που έχει συνδεθεί στον ελεγκτή

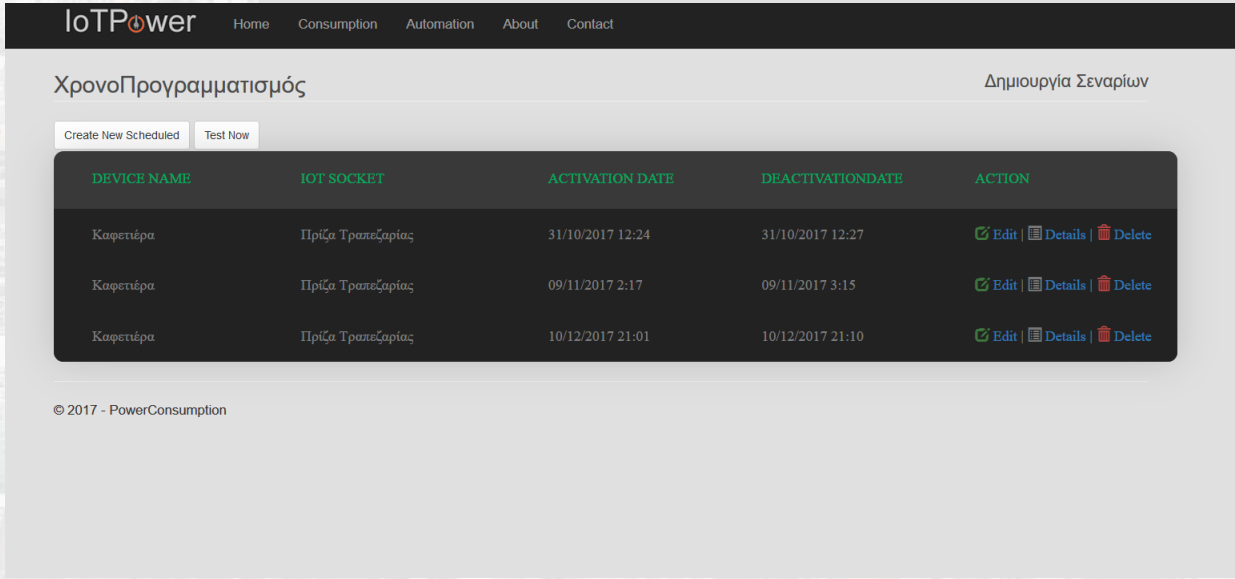
Στο παράδειγμά μας, στα πλαίσια των εργαστηριακών πειραμάτων οι μετρήσεις γίνονται ανά 15 sec.



Αυτοματοποίηση

Σενάρια Χρονοπρογραμματισμού





Μελλοντικές Επεκτάσεις

Insert the title of your subtitle Here

- Ενημέρωση του χρήστη για το ενδεχόμενο υψηλών καταναλώσεων
- Απεικόνιση του κόστους της ενεργειακής κατανάλωσης με βάση την εκάστοτε χρέωση της κιλοβατώρας
- Περαιτέρω διερεύνηση ζητημάτων ασφαλείας

- Λειτουργία εξοικονόμησης Πρόταση σεναρίων
- Δυνατότητα σύγκρισης τιμών και προγραμμάτων από διάφορους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας
- Επέκταση αρχιτεκτονικής συστήματος (χρήση εσωτερικής πύλης (gateway)


Σας ευχαριστώ