



Open your mind. LUT.  
Lappeenranta University of Technology

# **Tehonkulutuksen mittaaminen sähkömittarin S0-pulssi- lähdestä**

## **Measuring power consumption using S0 pulse output**

Toni Naukkarinen

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
LUT School of Energy Systems  
Sähkötekniikka

Toni Naukkarinen

### **Tehonkulutuksen mittaaminen sähkömittarin S0-pulssilähdöstä**

2018

Kandidaatintyö.

21 s.

Tarkastaja: Professori Pertti Silventoinen

Asennetun aurinkovoiman pientuotannon määrä Suomessa on nopeassa kasvussa. Tuottajalle edullisinta on käyttää tuotettu sähköenergia itse sen sijaan, että se syötettäisiin sähköverkkoon. Omakäyttöasteen parantamiseen käytetään kuormanohjausta, jonka avulla kiinteistön suurien kuormien käyttöaika voidaan siirtää päivän aurinkoisemmille tunneille. Kotitaloudessa tällainen kuorma on esimerkiksi lämminvesivaraaja. Kuormanohjaus voidaan toteuttaa aurinkovoimalan tuotantotiedon perusteella tai tuotanto- ja kulutustiedon yhdistelmänä. Jos ohjausta tehdään pelkän tuotantotiedon perusteella, voi ohjattava kuorma joutua silti ostosähkön varaan, koska muuta kulutusta kiinteistössä ei voida ottaa huomioon. Tämän vuoksi ohjauksen kannalta on hyödyllistä saada kulutustieto mukaan.

Tehonkulutusta voidaan arvioida sähkömittarin S0-pulssilähdöstä, joka on käytännössä jokaisessa Suomessa käytössä olevassa sähkömittarissa. Koska jokaisessa sähköverkkoon liitettyssä kiinteistössä on sähkömittari, on tämä kätevä tapa tehonkulutustiedon saantiin, koska erillistä mittaustilaa ei tarvitse asentaa. Sähkömittarin pulssilähtö tarjoaa mittarin mallista riippuvan määrän sähköisiä pulsseja siirrettyä kilowattituntia kohden. Kun tiedetään kahden pulssin välillä kulunut aika, voidaan laskea keskiarvo tehonkulutuksesta. Kulutustieto ei ole tässä tapauksessa reaaliaikaista, eikä tarkinta mahdollista, mutta tarkkuus riittää kuormanohjauksen toteuttamiseen.

Tässä kandidaatintyössä esitellään kaksi yleisintä sähkömittarityyppiä sekä niistä löytyvän S0-pulssilähdön toimintaperiaate. Lisäksi esitellään tapa tehonkulutuksen laskemiseen sähkömittarin S0-pulssilähtöä hyödyntäen. Työssä on rakennettu myös prototyyppilaitteisto kulutustiedon laskemiseen ja esittämiseen. Prototyyppi on rakennettu Espressifin ESP32-mikrokontrollerille ja lähettää kulutustiedon Bluetooth Low Energy-tiedonsiirtoprotokollan avulla Eddystone-URL-kehyksiä käyttäen.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
LUT School of Energy Systems  
Electrical Engineering

Toni Naukkarinen

### **Measuring power consumption using S0 pulse output**

2018

Bachelor's Thesis.

21 p.

Examiner: Professor Pertti Silventoinen

Small-scale production of solar energy is currently growing fast in Finland. For a household producer, the most benefit is gained from a photovoltaic system when as much of the produced energy as possible is used in the household, rather than exporting it to the grid. For maximizing the used energy load control systems are used. Using a load control system, it is possible to transfer the use time of large loads to daytime when the solar system is producing energy. An example of a large load in a household is a water heater. Load control can be done by using information of current production or a combination of consumption and production data. When using only information of production, the other power usage in the household cannot be considered. This can lead to a situation where power must be imported even though the photovoltaic system is producing energy. Combining power usage with production data prevents this issue.

Because every household connected to the grid has an electricity meter, it is an interesting method for approximating instantaneous power. Using an electricity meter for this purpose eliminates the need for additional equipment. Almost every electricity meter has an S0 pulse output, which gives a model-dependent amount of electric pulses per transferred kilowatt-hour. When the time between two sequential pulses is known, the instantaneous power can be calculated. The power acquired in this way is not real-time and not highly accurate, but it can be used for load control purposes.

This bachelor's thesis presents the two types of electricity meters and a way to calculate power consumption using the S0 pulse output of an electricity meter. In addition, a prototype device for this purpose is presented. The prototype is built using ESP32 microcontroller made by Espressif and it sends the consumption data using Bluetooth Low Energy and Edystone-URL frames.

# SISÄLLYSLUETTELO

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

1.	JOHDANTO .....	6
2.	SÄHKÖENERGIAN MITTAAMINEN .....	7
2.1	Induktioon pohjautuvat mittarit .....	7
2.2	Staattiset mittarit .....	7
3.	KULUTUSTIEDON LUKEMINEN MITTARILTA .....	9
3.1	S0-pulssilähtö .....	9
3.2	Tehonkulutuksen laskeminen S0-pulssisignaalista .....	11
4.	PROTOTYYPILAITTEISTO KULUTUSTIEDON VÄLITTÄMISEEN .....	13
4.1	Kytkenät .....	13
4.2	Eddystone-URL .....	15
4.3	Kulutustiedon vastaanotto .....	17
5.	YHTEENVETO .....	19
	Lähteet .....	20

Liitteet

## KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

BLE	Bluetooth Low Energy, langaton tiedonsiirtoprotokolla
MAC	Media Access Control, laitteen yksilöivä tunnus
IP	Internet Protocol, Internet-protokolla
URL	Uniform Resource Locator, web-osoite
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkko

$n$	pulssimäärä
$e$	pulssia vastaava energia
$P$	teho
$t$	aika

## 1. JOHDANTO

Aurinkosähkön pientuotanto on ollut Suomessa viime vuosina merkittävässä kasvussa. Syinä tähän ovat muun muassa aurinkopaneelien hinnan jatkuva lasku, sekä vuoden 2013 päätös sallia jakeluverkkoon liitettäväksi saksalaisen mikrotuotantostandardin VDE-AR-N-4105 mukaiset laitteet. Vuoden 2013 päätöksessä standardin mukaisia laitteita voitiin käyttää enintään 50 kVA kokoisissa tuotantolaitoksissa, mutta sitä laajennettiin vuonna 2016 koskemaan enintään 100 kVA kokoisia laitoksia (Energiateollisuus ry, 2016). Vuonna 2016 asennetun aurinkosähkön määrä yli kolminkertaistui vuoteen 2015 nähden 8 megawatista 27 megawattiin (Energiavirasto, 2017).

Pientuotannossa on sähkön tuottajalle edullisinta käyttää kaikki tuotettu sähkö itse. Tällöin ostosähkön määrä luonnollisesti pienenee ja säästetään sähkön siirtomaksuissa. Koska aurinkosähkön varastointiin ei ole vielä olemassa kustannustehokkaita ratkaisuja, omakäyttöastetta voidaan parantaa kuormanohjauksella. Tämä tarkoittaa esimerkiksi omakotitalon lämminvesivaraajan käyttöajan siirtämistä niille tunneille, jolloin aurinkopaneelit tuottavat. (Huoman, et al., 2015)

Kuormanohjausta voidaan tehdä kahdella eri tavalla: joko pelkän tuotannon perusteella tai tuotannon ja kulutustiedon yhdistelmänä. Jos ohjausta tehdään pelkän tuotantotiedon perusteella, on haittapuolena se, että kiinteistön muuta kulutusta ei voida ottaa huomioon. Tämä voi johtaa tilanteeseen, jossa esimerkiksi lämminvesivaraajaa käytetäänkin ohjauksesta huolimatta ostosähköllä, koska kiinteistössä on muuta kulutusta. Tämä ongelma poistuu, jos kiinteistöstä saadaan sähkön kulutustieto mukaan ohjaukseen. (Hategekimana, 2017)

Sähköyhtiön laskutuksen vuoksi jokaista sähköliittymää vastaa yksi tai useampi sähkömittari. Sähkömittari on tästä syystä kätevä tapa myös hetkellisen tehon mittaamiseen, koska erillistä kulutusmittaria ei tarvitse hankkia ja asentaa. Kuormanohjauksessa sähkömittarista saatavan kulutustiedon tarkkuus on riittävä, sillä tiedon ei tarvitse olla reaaliaikaista. Esimerkiksi lämminvesivaraajaa ei pidetä käynnissä vain joitakin sekunteja kerrallaan.

Tässä kandidaatintyössä esitellään sähköenergian mittaamiseen käytetyt sähkömittarityypit, sekä mittareiden S0-pulssilähtö ja sen toimintaperiaate. Työssä esitellään myös esimerkkitoetus mikrokontrolleripohjaisesta ratkaisusta tehonkulutuksen mittaamiseen hyödyntäen sähkömittarin S0-pulssilähtöä ja mitatun kulutustiedon lähettämisestä langattomasti.

## **2. SÄHKÖENERGIAN MITTAAMINEN**

Yleisimmin käytössä olevat sähkömittarit voidaan jakaa kahteen luokkaan: induktiomittareihin ja staattisiin mittareihin. Induktioimittarit perustuvat vanhempaan teknologiaan, ja ovat toimintaperiaatteeltaan mekaanisia. Staattiset mittarit ovat mikroprosessoripohjaisia, eivätkä sisällä liikkuvia osia. (Edison Electric Institute, 2002)

### **2.1 Induktioon pohjautuvat mittarit**

Yksivaiheisen vaihtosähkömittarin rakenteeseen kuuluu pyörivän kiekon lisäksi kestopagneetti sekä kaksi kela: jännitekela ja virtakela. Jännitekela kytketään kuorman kanssa rinnan, ja virtakela sarjaan. Näiden kelojen muuttuvat magneettikentät pyörittävät niiden väliin asetettua alumiiniekkoa pyörrevirtojen vaikutuksesta. Kun alumiiniekkoa jarrutetaan kestopagneetilla, on pyörimisnopeus verrannollinen kuluvan sähkömäärään. Yhtä kiekon kierrosta vastaa jokin mittarin mallista riippuva energiamäärä. Mittari laskee kiekon kierrosmäärää, josta saadaan kulunut kokonaisenergia. (Edison Electric Institute, 2002)

Kolmivaiheisessa mittarissa edellä kuvattu rakenne on toteutettu jokaiselle vaiheelle erikseen ja alumiiniekot jakavat yhteisen akselin. Yhteinen akseli aiheuttaa sen, että eri kiekoihin vaikuttavat voimat summautuvat. Koska mitattu kokonaiskulutus on voimien summa, voi loppuasiakas olla joko sähkömyyjä tai ostaja, mutta ei molempia samaan aikaan. Jos sähkömäärä ylittää kulutuksen ja sähköä menee verkkoon, pyörii akseli vastakkaiseen suuntaan ja mittarin lukema pienenee. (Edison Electric Institute, 2002).

Vanhemmissa mekaanisissa sähkömittareissa akselin pyöräminen vastakkaiseen suuntaan on estetty väärinkäytösten estämiseksi. Vanhat mittarit eivät siis välttämättä sovellu ollenkaan pientuotantokohteeseen. Tällaisessa tapauksessa voidaan käyttää kahta erillistä mittaria: toinen mittaa kulutettua tehoa ja toinen tuotettua. Lopullinen kulutetun tai tuotetun sähkömäärä saadaan näiden kahden mittarin summana. Etäluennan yleistymisen vuoksi tämä ongelma ei käytännössä koske Suomea. Ulkomailla mittarin vaihtaminen uudempaan on usein helpompi toimenpide, kuin kahden mittarin asentaminen. (Stapleton & Neill, 2012)

### **2.2 Staattiset mittarit**

Elektronisia sähkömittareita kutsutaan staattisiksi, sillä niissä ei ole liikkuvia osia. Sähköenergian mittaaminen tapahtuu analogia-digitaalimuuntamalla vaihejännitteet ja virrat. Mittarissa

oleva prosessori laskee muunnetuista arvoista kuluvan tehon. Mittari vaatii tarkan reaaliaikakellon, jonka perusteella kulunut sähköenergia voidaan laskea. (Edison Electric Institute, 2002)

Koska mittaukset tehdään erikseen joka vaiheelle, voi loppuasiakas olla samaan aikaan sähkön myyjä ja sähkön ostaja. Koska mittaukset ovat vaihekohtaisia, voi pulssilähtöjäkin olla useampia. Mittari voi myös seurata sähkön suuntaa, ja tuotetulle sähkölle voi olla erillinen pulssilähtö, kuin ostetulle sähkölle. Etäluennan käyttöönoton jälkeen ovat staattiset mittarit olleet Suomessa yleisin käytetty sähkömittarityyppi.

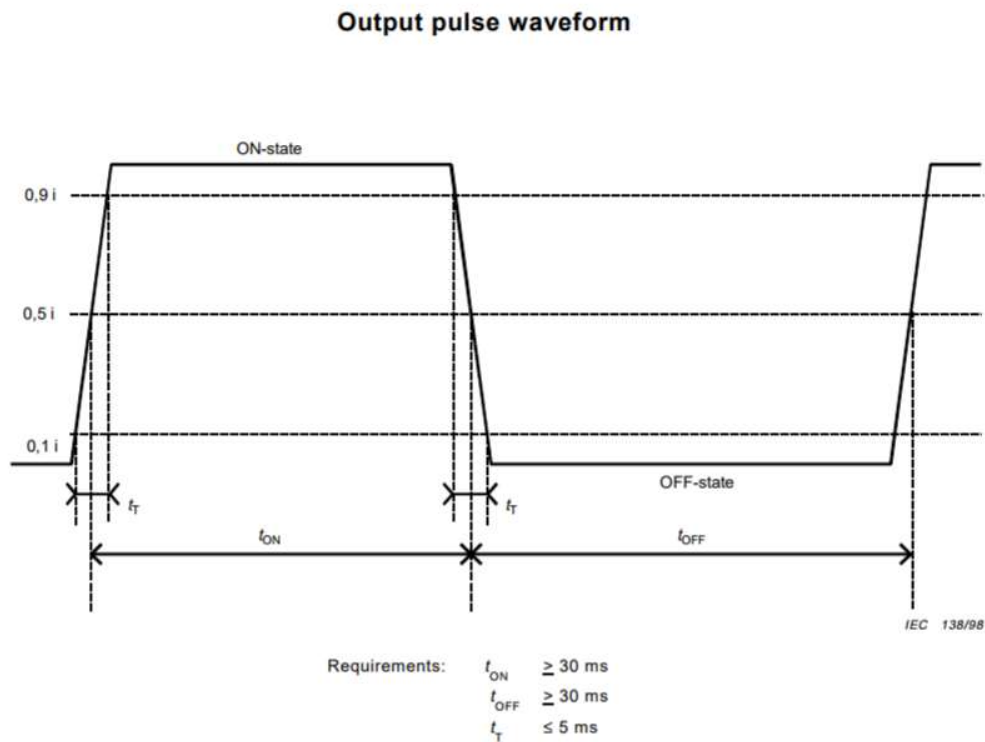


### 3. KULUTUSTIEDON LUKEMINEN MITTARILTA

Useat sähkömittarit tarjoavat pulssilähdön tai LED-valon, joka osoittaa energiankulutusta. Staattisissa mittareissa voi olla käytössä erilaisia väyliä mittaustiedon hakemiseen ja ne voivat olla etäluettavia. Tässä työssä käytettiin S0-pulssilähtöä, sillä se löytyy käytännössä kaikista Suomessa käytössä olevista sähkömittareista.

#### 3.1 S0-pulssilähtö

S0-pulssilähdöllä varustettu mittari antaa valmistajasta ja mittarin mallista riippuen tietyn määrän kuvan 3.1. mukaisia pulsseja kulunutta energiamäärää kohti.



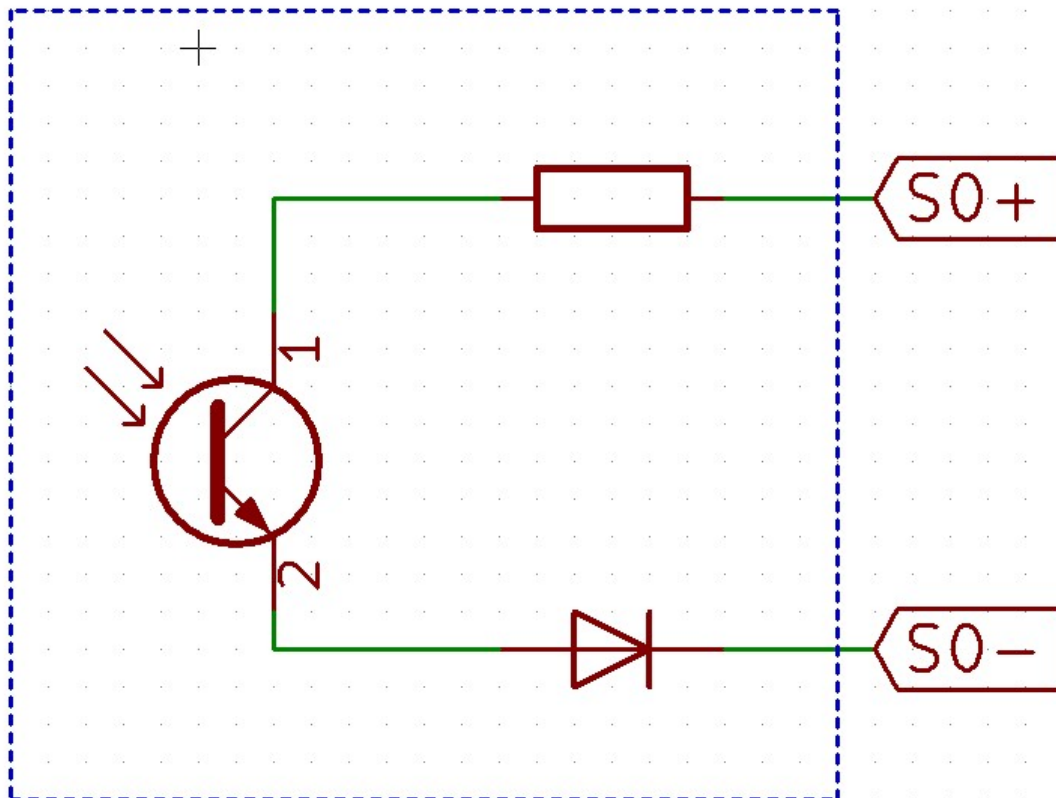
**Figure B.1 – Output pulse waveform**

Kuva 3.1 S0-pulssi ja sen jännitetasojen kestoajat (International Electrotechnical Commission, 1998).

S0-pulssilähtö ja sen ominaisuudet ovat määritelty IEC 62053-31 standardissa. Pulssilähdöt jaetaan kahteen luokkaan: A ja B. Luokkien välillä eroavat maksimijännite sekä -virta. A-luokan lähdöt mahdollistavat pitkän matkan siirron ja B-luokan lähdöt lyhyen matkan siirron pienellä virrankulutuksella. Pulssilähtö on galvaanisesti erotettu ja se on toteutettu avokolektorilähtönä. (International Electrotechnical Commission, 1998)

Avokollektorilähdöllä tarkoitetaan transistorikytkentää, joka muistuttaa normaalia kytkintä. Transistorin emitteri on kytketty sisäisesti maahan ja kollektorin kytkentä jätetään avoimeksi. Ulkopuolinen laite syöttää jännitteen kollektorille ja transistori alkaa johtaa sähköä saatuaan signaalin kannalleen. Jos lähtöä luetaan korkeaimpedanssisella tulolla, jää lähtökelluvaksi, kun transistori ei johda. Tällöin ei voida varmistua siitä, mihin tilaan lähtö ajautuu, ja mikrokontrolleri voi tulkita lähdön satunnaisesti loogisena nollana tai ykkösenä. Kellumisen estämiseksi käytetään alas- tai ylösvetovastuksia, jotka saattavat lähdön tiettyyn tilaan. (Horowitz & Winfield, 1989)

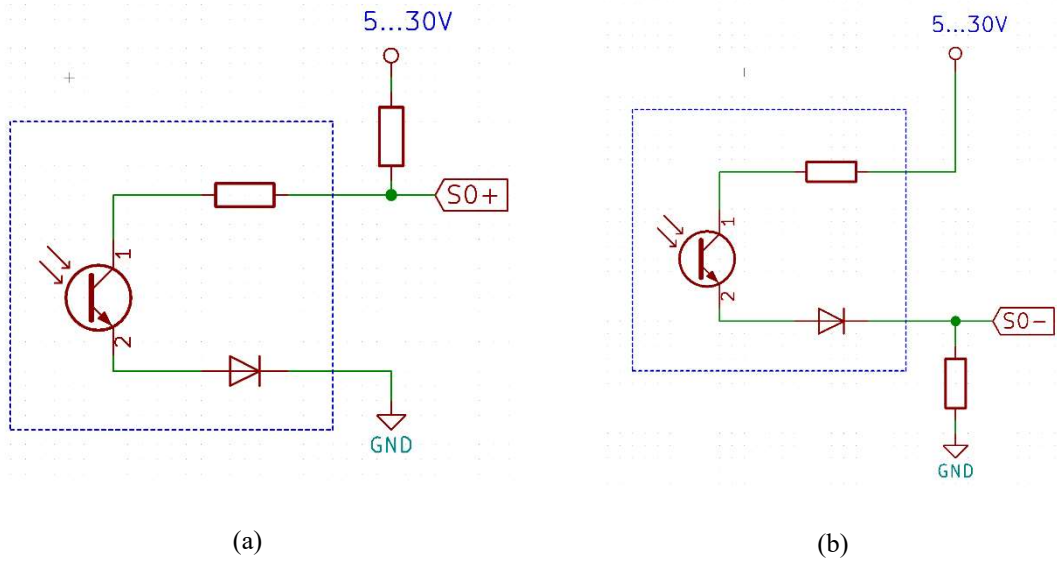
Standardinmukaisen S0-pulssilähdön toteutus on esitetty kuvassa 3.2. Kuvassa näkyvät suojauskomponentit ovat väärältä napaisuudelta suojaava diodi sekä virtaa rajoittava sarjavoimustus.



Kuva 3.2 IEC 62053-31-standardin mukainen S0-pulssilähtö. Katkoviiva kuvaa sähkömittarin sisään jäävää osuutta.

Lähtöön on usein liitetty ylijännitesuojana toimiva varistori ja zenerdiodi, joita ei ole esitetty yllä olevassa kuvassa. Pulssilähtö kytketään sitä lukevaan tuloon alas- tai ylösvetovastuksen avulla. (Saia Burgess Controls, 2014)

Pulssilähdön kytkennät on esitetty kuvassa 3.3.



Kuva 3.3 S0-pulssilähdön kytkentä (a) ylösvetovastuksella ja (b) alaspvetovastuksella.

Ylösvetovastusta käytettäessä (kuvassa ylempi) S0- kytketään maahan, ja S0+ ylösvetovastuksen kautta jännitteeseen. Pulssit voidaan tällöin lukea S0+ linjasta. Alaspvetovastusta käytettäessä (kuvassa alempi) käyttöjännite kytketään S0+ -pinniin ja S0- kytketään alaspvetovastuksella maahan. Pulssit luetaan kytkemällä lukevan laitteen tulo S0- -pinniin.

Mikäli sähkömittari ei tarjoa erillistä pulssilähtöä, mutta siinä on pulsseja kuvaava LED-valo, voidaan pulssien määrä lukea optisesti esim. fototransistorin avulla. Kytkentä vastaa tässä tapauksessa kuvaa 3.3, mutta kuvassa esiintyvä fototransistori ei ole mittarin sisällä, vaan se asetetaan ulkoisesti mittarin LED-valon päälle. Fototransistori täytyy suojata ulkopuolelta tulevalta valolta häiriöiden välttämiseksi.

### 3.2 Tehonkulutuksen laskeminen S0-pulssisignaalista

Sähkömittarit antavat mittarin valmistajasta ja mallista riippuen tietyn määrän pulsseja kilowattituntia mitattua energiaa kohden. Kun tiedämme tämän mittarille ominaisen pulssimäärän ja ajan kahden perättäisen pulssin välillä, voimme laskea keskiarvon hetkellisestä tehonkulutuksesta pulssien välillä.

Yhtä pulssia vastaava energiamäärä saadaan yhtälöstä

$$e = \frac{\text{kWh}}{n} = \frac{1000 \text{ Wh}}{n}, \quad (1)$$

jossa  $e$  tarkoittaa yhden pulssin energiamäärää ja  $n$  pulssien määrää kilowattituntia kohden. Kun tiedetään, että 1 wattitunti vastaa 3600 joulea energiaa, saadaan yhtä pulssia vastaava energiamäärä yhtälöstä

$$p = \frac{1000 \text{ Wh}}{n} * 3600 \text{ J}. \quad (2)$$

Kun tiedetään kahden pulssin välillä kulunut aika, voidaan tehonkulutus laskea yhtälöllä

$$P = \frac{\frac{1000 \text{ Wh}}{n} * 3600 \text{ J}}{t}, \quad (3)$$

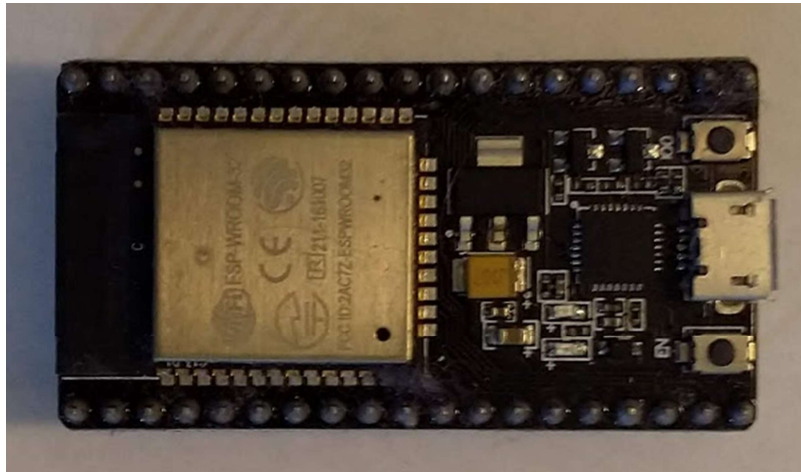
jossa  $P$  on tehonkulutus watteina ja  $t$  on pulssien välinen aika sekunteina.

Mittauksen tarkkuus riippuu sähkömittarista sekä prosessorin ajastimen tarkkuudesta, koska laskenta perustuu kahden pulssin välisen ajan mittaamiseen. Tehotiedon mittaussväli lyhenee, kun kulutus kasvaa tai impulssimäärää kilowattituntia kohden kasvatetaan. Tehotieto on aina keskiarvo kahden pulssin välillä, joten keskiarvoistusväli pienenee pulssitiheyden kasvaessa.

#### 4. PROTOTYYPPILAITTEISTO KULUTUSTIEDON VÄLITTÄMISEEN

Prototyypin laitteistoksi haluttiin mahdollisimman edullinen suoritin, jossa on sisäänrakennettuna Bluetooth Low Energy (BLE)-lähetin. Lisäksi suorittimessa täytyi olla riittävän tarkka ajastin, jolla pulssien väli saatiin laskettua.

Prototyyppiin valittiin kuvan 4.1 mukainen kiinalaisen Espressifin valmistama ESP32-mikrokontrolleri.

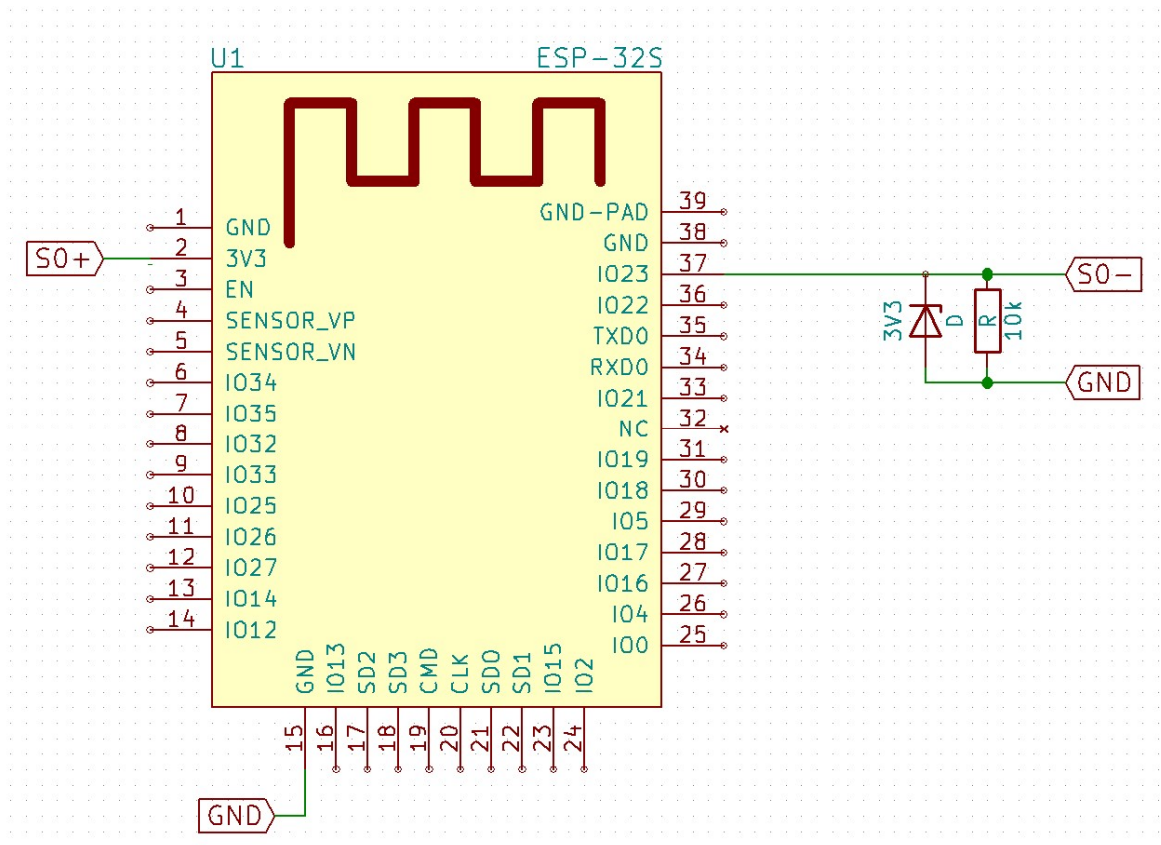


Kuva 4.1 Espressif ESP32-mikrokontrolleri

ESP32 tarjosi halutut ominaisuudet verrattain edulliseen hintaan. Mikrokontrollerin sovellus ohjelmoitiin Espressifin omalla ”IoT Development Framework” abstrahointikerroksella. Prototyyppi toimii BLE-lähettimeenä ja lähettää tehonkulutuksen Eddystone-URL -kehyksiä käyttäen.

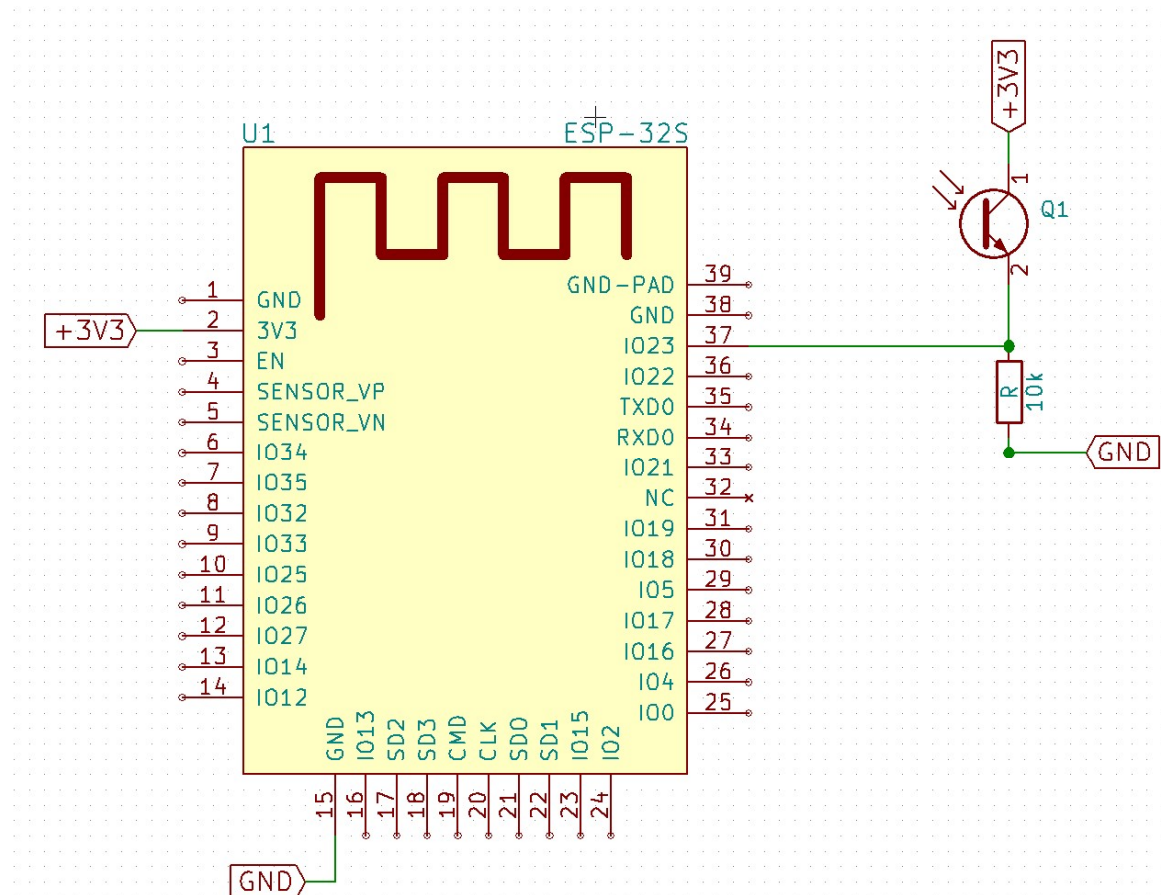
##### 4.1 Kytkennät

Sähkömittarin S0-pulssilähtö kytkettiin mikrokontrollerin tulopinniin 23 ja kytkentään lisättiin alavetovastus. Pulssilähdön standardin mukaan jännitteen tulisi olla vähintään 5 V, jonka vuoksi zenerdiodia käytettiin leikkaamaan jännitetaso prosessorille sopivaksi. Kytkentä on esitetty kuvassa 4.2.



Kuva 4.2 Kytentäkaavio käytetystä kytkennästä.

Lähdön havaittiin toimivan myös 3.3V:n jännitteellä, jonka vuoksi päädyttiin käyttämään alempaa jännitettä. Zeneriodi ei ole tämän vuoksi kytkennässä välttämätön. Zeneriodi vaatii kytkentään sarjavastuksen. Käytetyssä sähkömittarissa sarjavastus oli sisäänrakennettu, joten sitä ei lisätty kytkentään erikseen. Prosessorin käyttö sähkö syötettiin Micro-USB-liitimestä. Jos laitteella haluttaisiin lukea pulssit sähkömittarin LED-merkkivalosta, sijoitettaisiin fototransistori kytkentäkaavion S0+ ja S0- pinnien väliin kuvan 4.3 mukaisesti.



Kuva 4.3 Kytentäkaavio, jos luetaan käytetään fototransistoria.

Fototransistori Q1 johtaa, kun sähkömittarissa oleva LED-valo palaa. Tällöin pulssi näyttyy prosessin sisääntulossa. Kytentä voitaisiin tehdä myös ylösvetovastuksella kuvan 3.3 (a) mukaisesti.

## 4.2 Eddystone-URL

Eddystone-URL on Googlen kehittämä kehysratkaisu Bluetooth-majakoille. Bluetooth-majakoilla tarkoitetaan laitetta, jotka mainostavat Bluetooth Low Energy-protokollaa käyttäen jatkuvasti esimerkiksi sijaintiaan, UUID-tunnusta tai URL-osoitetta. Majakoita voidaan käyttää aktivoimaan vastaanottavassa laitteessa jokin tietty toiminnallisuus sen tullessa kantamalle tai esimerkiksi sisätiloissa suunnistamiseen, kun GPS-signaalia ei ole saatavilla. (Herrera Vargas, 2016)

Eddystone-URL:llä on mahdollista mainostaa URL-osoitteita pakatussa muodossa. Kehys on yhteensä 20 tavun mittainen ja koostuu taulukon 4.1 mukaisesta rakenteesta.

Taulukko 4.1 Eddystone-URL-kehys (Google Inc., 2016)

Tavun numero	Kenttä	Tarkoitus
0	Kehystyyppi	Eddystone <a href="#">URL:llä</a> 0x10
1	Lähetysteho	Lähetysteho, -100 dBm - +20 dBm
2	URL-etuliite	Etuliitteet esitetty taulukossa 5.2.2
3 - 20	URL-osoite	Pituus 1-17 tavua

Koska osoitteen maksimipituus on vain 17 tavua, Eddystone-URL:ssä käytetään osoitteille pakkausta. Vastaanottava laite tunnistaa pakkausta vastaavat tavut kehyksestä. Pakata voidaan URL-osoitteen alkuosa sekä domain-pääte. Kehyksen tavu numero 2 vastaa URL-osoitteen etuliitettä taulukon 4.2 osoittamalla tavalla.

Taulukko 4.2 URL-osoitteiden pakkaus (Google Inc., 2016)

Desimaalimuoto	Heksadesimaalimuoto	Laajennettu
0	0x00	<a href="http://www.">http://www.</a>
1	0x01	<a href="https://www.">https://www.</a>
2	0x02	<a href="http://">http://</a>
3	0x03	<a href="https://">https://</a>

Taulukosta nähdään, että kaikki yleisimmin käytössä olevat etuliitteet voidaan lyhentää yhden tavun mittaisiksi. Domain-osan pakkausta vastaavat arvot on esitetty taulukossa 4.3



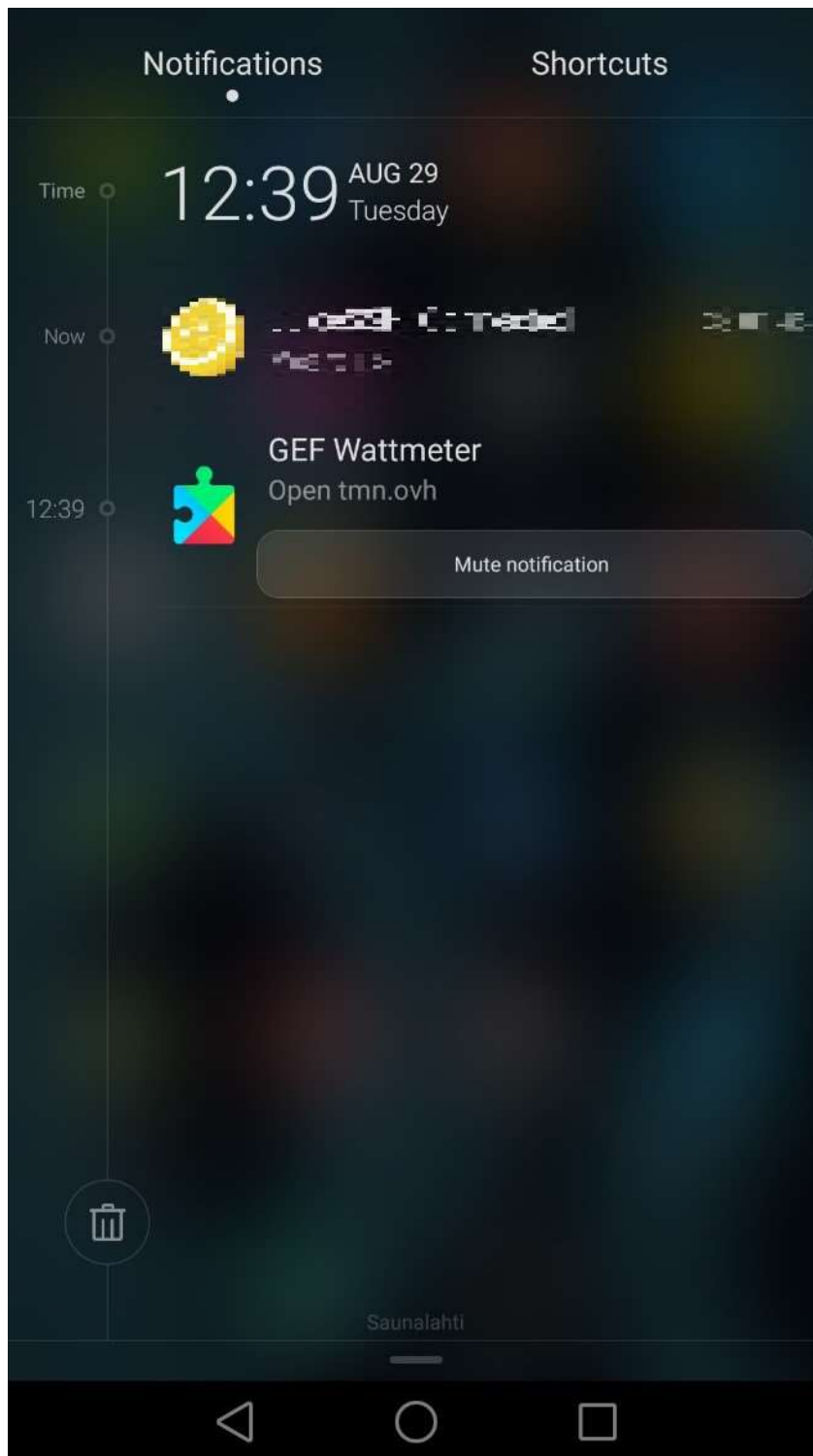
Taulukko 4.3 Domain-päätteiden pakkaus (Google Inc., 2016)

Desimaalimuoto	Heksadesimaalimuoto	Laajennettu
0	0x00	.com/
1	0x01	.org/
2	0x02	.edu/
3	0x03	.net/
4	0x04	.info/
5	0x05	.biz/
6	0x06	.gov/
7	0x07	.com
8	0x08	.org
9	0x09	.edu
10	0x0a	.net
11	0x0b	.info
12	0x0c	.biz
13	0x0d	.gov
14 – 32	0x0e – 0x20	Varattu tulevaisuutta varten
127 - 255	0x7f – 0xff	Varattu tulevaisuutta varten

Pakkauksesta huolimatta osoitteen maksimipituus voi olla vain 17 merkkiä pitkä. Tästä syystä Eddystone-URL:n kanssa käytetään usein osoitteenlyhennyspalveluita, kuten Googlen goo.gl -palvelua. (Google Inc., 2016)

### 4.3 Kulutustiedon vastaanotto

Eddystone-URL kehykset voidaan vastaanottaa millä tahansa BLE:tä tukevalla laitteella. Android-ympäristössä mainostetut osoitteet tulevat ilmoitusnäyttöön, kun Bluetooth on käytössä ja majakoiden vastaanotto on kytketty päälle asetuksista. Androidin tapauksessa mainostetun osoitteen tulee myös olla suojatun yhteyden takana (HTTPS), tai ilmoitus ei tule näkyviin (Google Inc., 2018). Tunnistaessaan Eddystone-URL majakan Android-laite näyttää kuvan 5.2 mukaisen ilmoituksen.



Kuva 5.2 Kuvakaappaus Android-laitteen näytöstä, joka on havainnut Eddystone-URL-majakan (GEF Wattmeter).

Kehyksien vastaanottoon toteutettiin vielä yksinkertainen Python-kirjasto. Kirjasto toimii millä tahansa Linux-laitteella, jossa on käyttöjärjestelmän tukema Bluetooth Low Energy-sovitin, sekä pybluez-kirjasto asennettuna. Lähdekoodi on avointa ja se on saatavilla Bitbucket-palvelusta. (Naukkarinen, 2017)

## 5. YHTEENVETO

Sähkömittarin S0-pulssilähtö soveltuu kuormanohjauksessa käytettävän kulutustiedon hakemiseen. Pulssilähdön lukeminen prosessoripohjaisesti onnistuu verrattain yksinkertaisesti pienellä määrällä oheiskomponentteja, eikä tehonkulutuksen laskeminen vaadi juurikaan laskentatehoa. Järjestelmä olisi siis toteutettavissa hyvin pienikokoisella ja vähävirtaisella ratkaisulla, joka mahtuu pienempäänkin sähkökeskukseen.

Työssä toteutettu prototyyppi soveltuu mittaustiedon näyttämiseen esittelymielessä. Prototyypin tarkoituksena oli osoittaa, kuinka helposti tehotieto voidaan laskea sähkömittarilta ja esittää helposti katsottavassa muodossa. Varsinaiseen mittauskäyttöön kuormanohjausta varten järjestelmä tulisi toteuttaa eri tavalla, sillä Eddystone-URL-kehykset eivät sellaiseenaan ole tarkoitettu mittaustiedon välittämiseen.

Samaa prosessorialustaa ja kytkentää voisi käyttää, vaikka mittaustiedon siirto tehtäisiin eri tavalla. Bluetooth ja Bluetooth Low Energy mahdollistavat useita erilaisia tapoja mittaustiedon välittämiseen oikeassa kuormanohjaukseen käytettävässä sovelluksessa. Työssä käytetty prosessorialusta voidaan liittää myös WLAN-verkkoon, jolloin mittaustiedon välitys voitaisiin tehdä IP-protokollaa käyttäen. Eddystonen kaltaiset mainostukseen perustuvat formaatit eivät tarjoa salausta mittaustiedolle, joka on oikean elämän sovellutuksissa tärkeää. Mainostukseen perustuvassa kehystyksessä ainut lähettäjän yksilöivä tekijä on laitteen MAC-osoite. MAC-osoitteen väärentäminen on mahdollista, joten mainostuksella ei voida varmistua mittauksen alkuperästä. Jos alkuperää ei voida varmentaa, voisi kolmas osapuoli vaikuttaa esimerkiksi ohjattavaan kuormaan lähettämällä väärennettyä kulutustietoa.

## LÄHTEET

Edison Electric Institute, 2002. *Handbook for Electricity Metering*. 10th Edition ed. Washington D.C.: Ediston Electric Institute.

Energiateollisuus ry, 2016. Tekninen liite 1. In: *Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon*. s.l.:Energiateollisuus ry.

Energiavirasto, 2017. *Sähköverkkoon kytketty aurinkosähkökapasiteetti yli kolminkertaistui vuodessa*. [Verkkosivu]

Available at: <https://www.energiavirasto.fi/-/sahkoverkkoon-kytketty-aurinkosahkokapasiteetti-yli-kolminkertaistui-vuodessa>  
[Haettu 31 05 2018].

Google Inc., 2016. *Eddystone Protocol Specification*. [Verkkosivu]

Available at: <https://github.com/google/eddystone/tree/master/eddystone-url>  
[Haettu 28 12 2017].

Google Inc., 2018. *Get Started with Beacons*. [Verkkosivu]

Available at: <https://developers.google.com/beacons/get-started>  
[Haettu 22 07 2018].

Hategekimana, P., 2017. *Analysis of Electrical Loads and Strategies for Increasing Self-Consumption with BIPV*, Agder: University of Agder.

Herrera Vargas, M., 2016. *Indoor navigation using Bluetooth Low Energy (BLE) beacons*, Turku: Turun ammattikorkeakoulu.

Horowitz, P. & Winfield, H., 1989. *The Art of Electronics*. 2nd ed. Melbourne: Cambridge University Press.

Huoman, K., Kosonen, A. & Ahola, J., 2015. *Intelligent control of solar power with water*, Helsinki: Suomen Automaatioseura.

International Electrotechnical Commission, 1998. *Electricity metering equipment (a.c.) - Particular requirements - Part 31: Pulse output devices for electromechanical and electronic meters (two wires only) (62053-31:1998)*. Geneve: International Electrotechnical Commission.

Naukkarinen, T., 2017. *Python library for receiving Eddystone-URL beacons*. [Verkkosivu]

Available at: <https://bitbucket.org/oh5fsz/python-eddystone>  
[Haettu 14 04 2018].

Saia Burgess Controls, 2014. *Application instructions: energy meter*. [Verkkosivu]

Available at: [https://www.sbc-support.com/index.php?id=1460&tx\\_srcproducts\\_srcproducts\[file\]=Applicationnote\\_S0puls\\_output\\_EN\\_V1.1\\_01.pdf0puls\\_output](https://www.sbc-support.com/index.php?id=1460&tx_srcproducts_srcproducts[file]=Applicationnote_S0puls_output_EN_V1.1_01.pdf0puls_output)  
[Haettu 28 12 2017].

Stapleton, G. & Neill, S., 2012. *Grid-connected Solar Electric Systems: The Earthscan Expert Handbook for Planning, Design and Installation*. 1st edition ed. New York: Earthscan.