Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola, Písek, Karla Čapka 402, Písek

18-20-M/01 Informační technologie

Maturitní práce

Dálkové ovládání zásuvek NETIO

Téma číslo 12

autor:

Milan Jiříček, B4.I

vedoucí maturitní práce:

Ing. Břetislav Bakala

Písek 2020/2021

Anotace

Maturitní práce se zaměřuje na porovnání platforem ESP8266 a ESP32. Cílem je vytvořit ovladač pro ovládání zásuvek značky NETIO s webovou aplikací pro konfiguraci a zjistit, která platforma je vhodná pro realizaci funkčního vzorku z hlediska spotřeby energie a reakční doby.

Annotation

The graduation thesis focuses on the comparison of the ESP8266 and ESP32 platforms. The goal is to create a driver for controlling NETIO sockets with a web application for configuration and to find out which platform is suitable for the implementation of a functional sample in terms of energy consumption and response time.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu učiteli Ing. Břetislavovi Bakalovi za odborné vedení práce a cenné rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat. Rád bych také poděkoval technickému řediteli Ing. Břetislavovi Bakalovi ml. společnosti NETIO products a.s. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce. V neposlední řadě chci poděkovat Mgr. Haně Maříkové a Mgr. Vladimíře Špirhanzlové za pomoc při gramatické a stylistické kontrole.

Obsah

Kapitola 1

Úvod

Kapitola 2

Teoretický úvod do problematiky

2.1 Zásuvka NETIO

2.2 Platforma ESP

ESP jsou rodina mikročipů od společnosti **Espressif Systems**.

2.2.1 ESP8266

Historie

ESP8266 je levný mikročip, který umí využívat WiFi. První chip, který se dostal na světlo světa byl v modulu **ESP-01**. Tento modul dokázal připojit se na WiFi síť a provádět jednoduché TCP/IP spojení. Získal si velkou oblibu díky nízké ceně. Jsou vhodné pro IoT jako například automatizace, zabezpečení, chytré domy atd.

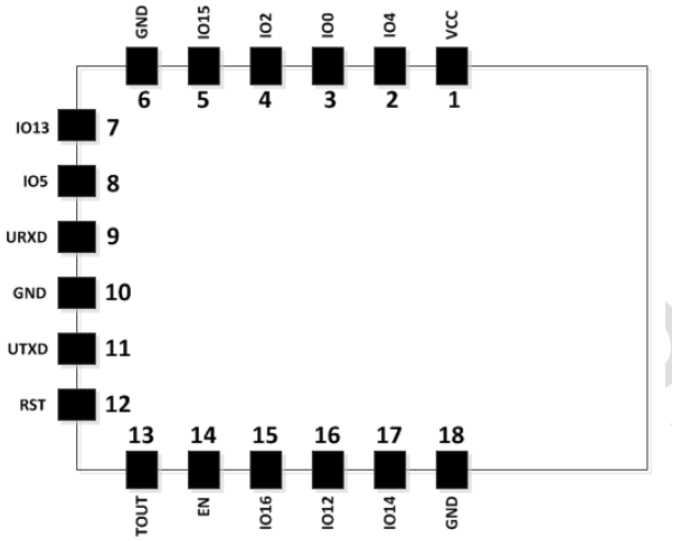
Specifikace

Pro tuto maturitní práci bude použit modul **WT8266-S1**, který je vytvořen společností **Wireless-Tag**. Je založen na mikročipu ESP8266.
ESP8266 integruje vylepšenou verzi procesoru **L106 Diamond series 32-bit** vytvořený firmou **Tensilica** s podporou frekvencí 80 MHz a 160 MHz a RTOS[1]. K dispozici je 36 KB RAM a 16 Mbit Flash paměti. Intergrovaný v systému je také 10 bitový analog-digitální převodník. Modul podporuje standard **IEEE802.11 b/g/n** [2] a sadu protokolů TCP/IP. WiFi 2,4 GHz umožňuje WPA/WPA2 [3], rychlost až 72,2 Mbps a ke komunikaci využívá

[1] Operační systém v realném čase
[2] Standard pro lokální bezdrátové sítě
[3] Chráněný přístup k WiFi

anténu PCB. Zařízení má 16 GPIO pinů[4] (viz. obr. 2.1). Také obsahuje:

- **UART** - univerzální asynchronní přijímač-vysílač pro sériový přenos
- **I^{2}C** - seriová sběrnice o dvou vodičích pro nízkorychlostní zařízení
- **I^{2}S** - seriová sběrnice pro digitální audio
- **SPI** - seriové periferní rozhraní pro komunikaci mezi mikroprocesorem a integrovanými obvody
- **rozhraní HSPI** - externí SPI pro připojení displeje či externí Flash
- **PWM rozhraní** - 4 kanálová pulzně šířková modulace pro přenos analogového signálu pomocí dvouhodnotného signálu



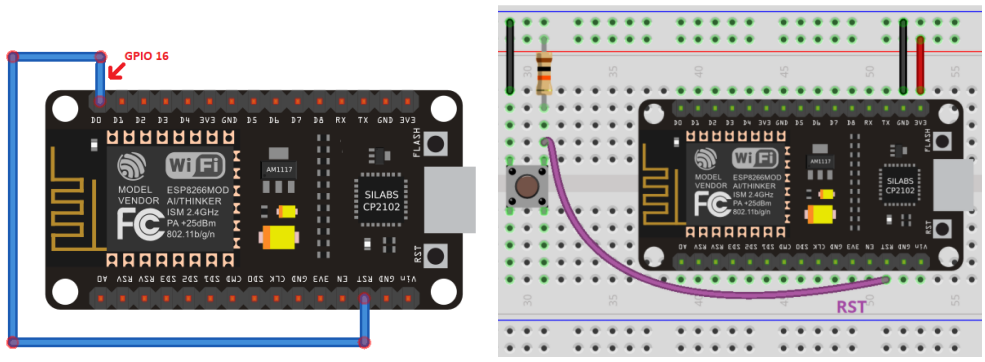
Obrázek 2.1: ESP8266 pinout

Deep sleep

Platforma ESP lze také uvést do úsporného režimu. Jednoduše to znamená vypnutí nedůležitých částí pro ustálený stav. ESP8266 celkově nabízí 3 druhy úsporných režimů.

[4]Vstupně výstupní pin

Modem, light a deep. Pro moji maturitní práci použiji deep sleep, který je nejúspornějších. Kromě **RTC**[5] se vše vypne, včetně CPU či WiFi. V tomto režimu je také možné uchovat data v tzv. RTC paměti, která jsou dostupná i po obnovení. Průměrná spotřeba je 20 µA a je vhodný pro jakýkoliv projekt na akumulátor či baterii.
Probuzení ESP probíhá, buď po nastaveném čase, kde je nutné připojit pin **GPIO 16** tzv. wake-up pin na **RESET** (viz. obr. 2.2a), nebo můžeme na **RESET** přivést krátce tlačítkem logickou nulu a obnovíme ESP hardwarově (viz. obr. 2.2b).



(a) Sotwarově po daném čase (b) Hardwarově

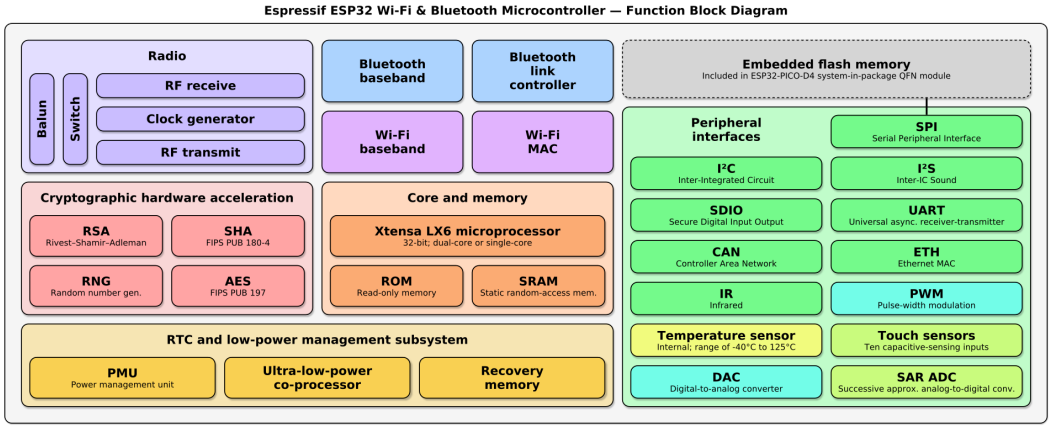
Obrázek 2.2: ESP8266 probuzení z deep sleep po daném čase

2.2.2 ESP32

ESP32 je starší model z řady ESP, který byl vydán v roce 2016. Tento mikročip má integrované WiFi i Bluetooth. Série ESP32 obsahuje mikroprocesor Tensilica Xtensa LX6 v dvou jádrové či jednojádrové verzi, který může operovat na 160 MHz nebo 240 MHz. SRAM je zde byla zvetšena na 520 kB. WiFi může dosáhnout rychlosti až 150 Mbps společně se zabezpečením WPA/WPA2. Kromě IPv4 je možnost použít i IPv6. ESP32 integruje 12 bitový analog-digitální převodník. Oproti ESP8266 je do tohoto modelu zabudován senzor teploty. ESP32 disponuje 36 GPIO piny. Další funkce jsou na obrázku 2.3.

2.3 Komunikace mezi ESP a NETIO zásuvkou

[5]Hodiny realného času



Obrázek 2.3: ESP32 blokový diagram funkcí

Kapitola 3

Metodika postupu

3.1 Tvorba rozhraní

3.2 Měření připojení k WiFi a odeslání HTTP requestu

Cílem měření je zjistění rychlostí a spotřeby připojení různými způsoby k přístupovému bodu a následné porovnání případů. Do měření je také započítáné odesílání HTTP requestu zásuvce. Jsou vytvořeny celkem 4 případy akcí:

- **statická IP adresa** - Zařízení dostane IP adresu, masku a bránu staticky staticky nakonfigurovanou. Na access pointu bude vyplé DHCP a komunikace nebyla zabezpečena.
- **dynamická IP adresa** - Bude využit DHCP protokol, kde zařízení požádá DHCP server o IP adresu, kterou mu access point přidělí společně s bránou, maskou a s časem, kdy tato adresa platí. Při měření nebyl přístupový bod zabezpečen.
- **Zabezpečené připojení** - Připojení na access point bude šifrované pomocí WPA2 - PSK. DHCP server bude zapnut. Toto je simulace klasického uživatelského používání.
- **Odeslání HTTP requestu** - Zařízení je připojené k WiFi. Odešle zprávu zásuvce a pokud dostane zpětnou vazbu od zásuvky, ukončí se činnost.

Ve všech scénářích bude měřeno zařízením **ANALOG DISCOVERY 2** od Digilent. Frekvence procesoru je 160 MHz a AP je vzdálen 3,5 m od zásuvky a funkčního vzorku ovladače.

3.2.1 Spotřeba

Měřen bude úbytek napětí na bočníku[1] o velikosti určené u měření. V programu k měřícímu zařízení je možné stejně jako na osciloskopu vytvořit graf naměřených hodnot v dané vzorkovací frekvenci. Hodnoty napětí bude převedeno na hodnoty el. proudu pomocí Ohmova zákona $I = \frac{U}{R}$. Amplitudy el. proudu budou sečteny a vyděleny počtem vzorků **[DOPLNIT VZOREC]**. Tato operace nám poskytne zjištění průměrného el. proudu ve scénáři. Spotřebu již vypočítáme dle:

$$E = U \times \overline{I} \times \frac{t}{3600}$$

Čas **t** v sekundách je možné zjistit v následující kapitole.

3.2.2 Reakční čas

Z naměřeného případu bude vyjmuta klidová část a rozdíl mezi posledním a prvním vzorkem je poté reakční čas. V případě HTTP requestu nebude počítána část konfigurace WiFi. Společně s měřením byl na **serial monitor** odesílány zprávy, kde se program nachází. Poté se vyjmula část, která dle serial monitoru nepatří do scénáře.

3.3 Ustálené stavy

Pro ustálené stavy byly navrhnuty jednoduché programy pro co nejlepší porovnání. Ustálený stav je stav, kdy zařízení čeká na uživatelský podnět jako např. stisknutí tlačítka. Ideální ustálený stav musí splňovat:

1. nejkratší možnou reační dobu
2. nejnižší možnou spotřebu pro co nejdelší výdrž baterií

Reakční doba musí být v rámci uživatelské přívětivosti tzn. probuzení z tohoto stavu nesmí trvat více jak 1,5 s. Zároveň se zařízení nesmí vypnout zdůvodu vybité baterie za krátkou dobu. Porovnání proběhne mezi třemi scénáři, které mají jiné vlastnosti. Vybrány byly následující:

[1] nízkoohmový rezistor

- **Kontinuální režim** - V tomto stanu není žádná funkce ESP vypnuta.
- **Deep sleep** - ESP vypne vše až na RTC (kapitola viz. 2.2.1 na straně 7).
- **Enable button** - ESP je vypnuto pomocí přivedené GROUND na pin ENABLE.

3.3.1 Spotřeba

Cílem měření je nalézt stav s nejmenší spotřebou energie, jelikož finální prvek bude napájen z baterií je důležité co nejdelší výdrž. Programy, které byly napsány pro měření:

- **Kontinuální režim** - Zařízení má nastavený určitý GPIO na tlačítko a monitoruje zda bylo zmáčknuto. ESP také má otevřenou sériovou komunikaci.
- **Deep sleep** - Program zajišťuje probuzení ESP každých 5 s a odesílání zprávy na serial monitoring.
- **Enable button** - Pro měření této situace není třeba specifický program

Pro měření bude použit **ANALOG DISCOVERY** s jeho funkcí osciloskopu. Na napájení bude přidán bočník o velikosti 0,7 Ω, 10,5 Ω nebo 4,7 Ω [2]. Pomocí Ohmova zákona $I = \frac{U}{R}$ je možné zjistit el. proud. Příkon, který bude porovnán vypočítáme dle vztahu:

$$P = U \times I$$

OBRÁZKY ZAPOJENÍ

3.3.2 Probuzení z ustálených časů

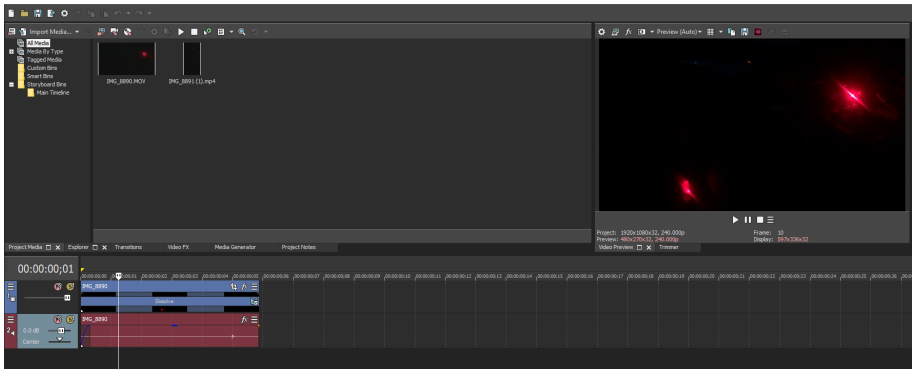
Ovladač, který je již připojen k WiFi, po stisknutí tlačítka odešle HTTP request zásuvce, která zareaguje přepnutím stavu a odesláním zprávy zpět ovladači zda se povedlo či nikoliv.

Reakční doba byla změřena pomocí kamery. K tlačítku jsem připojil LED, místnost jsem izoloval od světla a zmáčknutí tlačítka a reakci zásuvky jsem natočil ve zpomaleném režimu s **240 snímky za sekundu**. Pro upravení videa jsem použil trial verzi programu

[2] Je nutné zvolit takový odpor, aby byl úbytek napětí měřitelný.

Sony Vegas (viz. obr. 3.1). Našel jsem rozsvícení LED tlačítka a rozsvícení LED zásuvky ve videu a ustřihl jsem tento úsek od zbytku videa. Program poskytuje zobrazení počtu snímku daného úseku. Reakční čas je následovně možný zjistit pomocí:

$$t = \frac{\text{Počet snímků úseku}}{\text{Počet snímků za sekundu}}$$



Obrázek 3.1: Ukázka postupu pro měření reakčních časů

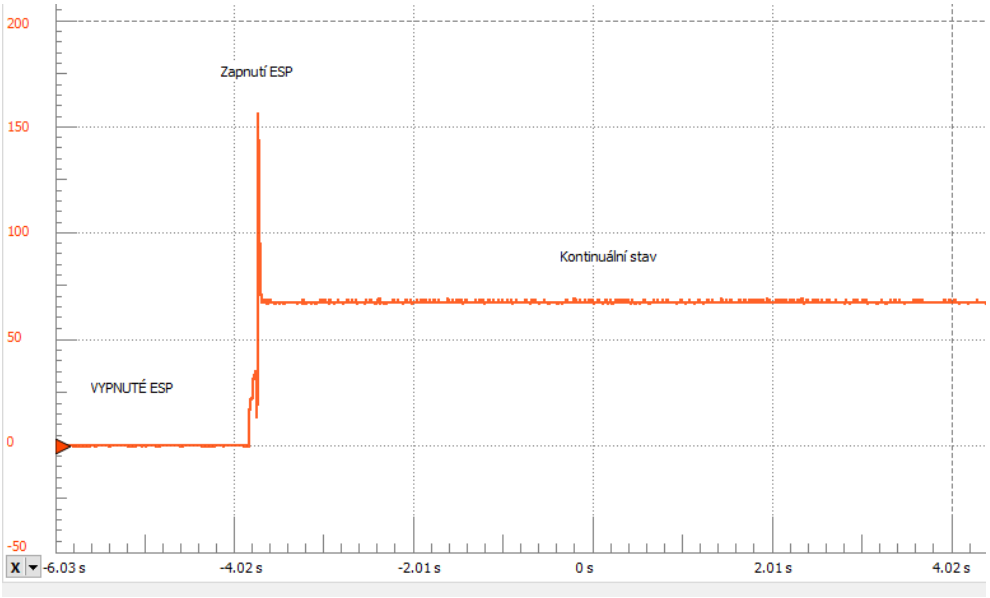
Kapitola 4

Měření spotřeby a času

4.1 ESP8266

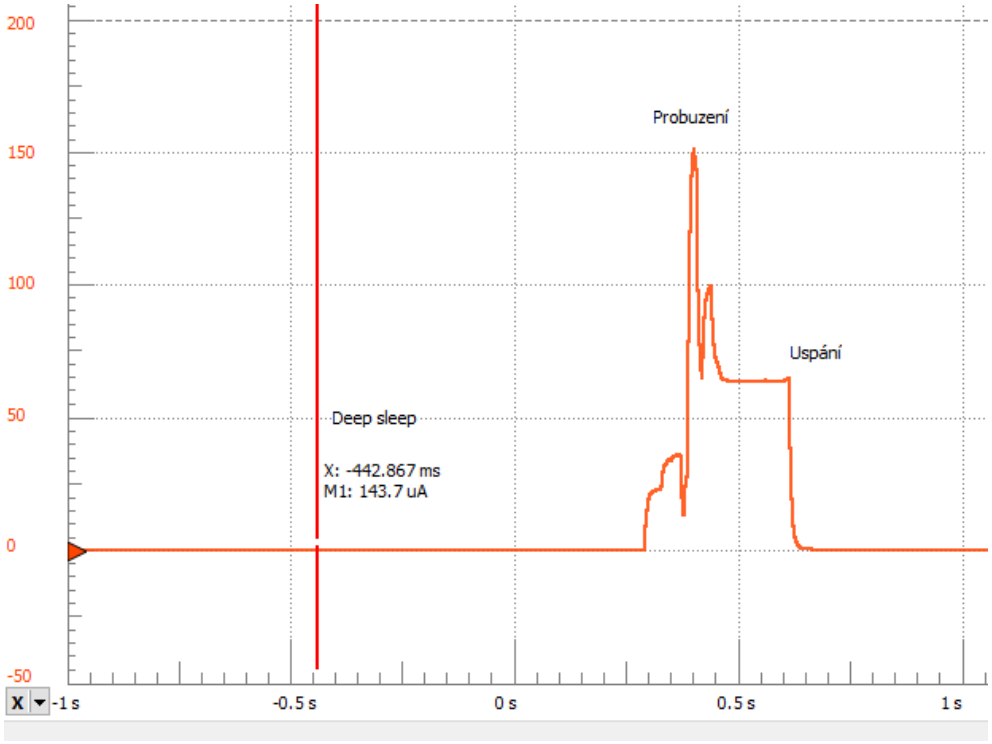
4.1.1 Spotřeba ustálených stavů

Spotřeba jednotlivých scénářů je měřena dle metodiky 3.3.1 na straně 12. Bočník pro měření úbytku napětí byl o velikosti 4,7 Ω.



Obrázek 4.1: ESP8266 graf kontinuálního ustáleného stavu

Situace **enable button** nebyla možná změřit zařízením **ANALOG DISCOVERY 2** ani na bočníku o velikosti 0,7 Ω kvůli velice nízkému úbytku napětí, který se v datasheetu WT8266 pohybuje v jednotkách µA. V tomto případě pro výpočty je použita hodnota, kterou určil výrobce v datasheetu.



Obrázek 4.2: ESP8266 graf deep sleep ustáleného stavu

Tabulka 4.1: ESP8266 porovnání spotřeby ustálených stavů

Ustálený stav	U(V)	I(A)	P(W)
Kontinuální	$3,3$	$67,66 \times 10^{-3}$	$223,3 \times 10^{-3}$
Deep sleep	$3,3$	$138,20 \times 10^{-6}$	$460,0 \times 10^{-6}$
Enable button	$3,3$	$3,00 \times 10^{-6}$	$9,9 \times 10^{-6}$

Dle tabulky 4.1 je možné vidět jednotlivé situace. Největším příkonem disponuje kontinuální ustálený stav z důvodu běžícího programu na kontrolu interakce.

4.1.2 Reakční čas jednotlivých situací

Porovnání reakčních časů

Nejrychlejší reakce byla pokud ESP8266 bylo neustále zapnuto. Nejpomalejší naopak bylo pokud ESP8266 bylo nutné zapnout, je to z důvodu načtení sketche do operační paměti, načtení konfigurace WiFi a následnému připojení viz. tabulka 4.2.

Tabulka 4.2: ESP8266 porovnání reakčního času jednotlivých situací

Ustálený stav	t(ms)
Kontinuální	**196**
Enable	**3 208**
Deep sleep	**983**

4.1.3 Spotřeba jednotlivých operací

Spotřebu budeme měřit pro jednotlivé situace WiFi a odesílání HTTP requestu. Pro tyto situace využijeme data z měření v kapitolách 4.1.3 a 4.1.4. Měření WiFi připojení probíhalo za vzorkovací frekvence 160 Hz a HTTP komunikace za 68,275 Hz. Z veličin, které známe, lze vypočítat **spotřebovanou energii**:

$$E = P \times t$$

$$E = U \times I \times t$$

Tabulka 4.3: ESP8266 Spotřeba operací

Operace	U(V)	I[mA]	t[ms]	P[mW]	**E**[μWh]
Dynamické připojení	3,3	89,5	5 300	295	**435**
Statické připojení	3,3	83,0	3 143	274	**239**
Zabezpečené připojení	3,3	90,9	4 606	300	**383**
HTTP komunikace	3,3	84,8	732	280	**57**

Shrnutí výsledků spotřeby operací

Z tabulky 4.3 je možné vidět, že **příkon P** je téměř totožný v každé operaci. Největší rozdíl, který ovlivňuje spotřebu, je čas, za který se úkon vykoná. Jelikož **připojení pomocí statické IP adresy** trvalo nejkratší dobu, má také nejmenší spotřebu.
Samotná **komunikace HTTP** má nejnižší spotřebu ze všech definovaných operací a jeden cyklus operace spotřebuje zanedbatelné množství energie.

4.2 ESP32

4.2.1 Spotřeba ustálených stavů

Kontinuální

Enable

Deep sleep

4.2.2 Reakční čas jednotlivých situací

Získání reakčních časů jednotlivých možností zapojení ESP32 proběhlo stejným způsobem jako u ESP8266 (viz. obr. 3.1 na straně 13) tzn. Náhrál jsem reakci na kameru v 240 snímcích za sekundu, vystřihl jsem úsek, kde zásuvka reaguje, a převedl jsem snímky na čas.

Tabulka 4.4: ESP32 porovnání reakčního času jednotlivých situací

Ustálený stav	t(ms)
Kontinuální	**188**
Enable	**2 333**
Deep sleep	**1 071**

4.3 Porovnání získaných výsledků

4.3.1 Reakční časy stavů

Z tabulky 4.5 je možné vidět jak si platformy vedly proti sobě.
Pokud ovladač neustále běží s připojenou WiFi čas reakce je velmi rychlý a v obou případech uživatel nepostřehne prodlevu mezi aktivací ovladače a sepnutí relé v zásuvce. Časy mezi platformami se liší minimálně a rozdíl se pohybuje v rámci milisekund, přesto je ESP32 lehce rychlejší.
Zapnutí vypnutého ESP, následné načtení a připojení k WiFi je nejdelší ze všech scénářů,

který trvá několik sekund. Pro uživatele je velice pomalé a v realném produktu dle mého názoru zcela nepoužitelné. I přesto je ESP32 je mnohem rychlejší a to zhruba o 1 s.
Deep sleep je alternativa mezi kontinuálním a vypnutým stavem. ESP totiž vypne vetšinu svých částí. Díky tomu je schopno relativně rychle zareagovat na budící signál. Reakce obou ovladačů je cirka 1 s. Zde vede ESP8266, které je zhruba o 100 ms pomalejší.

Tabulka 4.5: Porovnání reakčních časů ústálených stavů platforem

Ustálený stav	ESP8266 (ms)	ESP32 (ms)
Kontinuální	**196**	**188**
Enable	**3 208**	**2 333**
Deep sleep	**983**	**1 071**

Kapitola 5

Vytvoření funkčních vzorků

Kapitola 6

Závěr

Seznam tabulek

Seznam obrázků

Příloha A

Příloha

Literatura

[1] ESP8266. *Wireless-Tag Technology Co.,Limited* [Online]. Irvine (CA): Wireless-Tag, 2021 [cit.2021–02–16]. Dostupné z: https://www.tme.com/Document/12266bdd8a30eeb152305461b089a151/WT8266-S1.pdf

[2] DHCP PROTOKOL. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [Online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit.2021–02–16]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki_Dynamic_Host_Configuration_Protocol