

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 1234

**NOSIVI MJERNI SUSTAV ZA PREPOZNAVANJE
I KLASIFIKACIJU POREMEĆAJA TEČNOSTI
GOVORA**

Nikola Gudan

Zagreb, lipanj, 2024.

Student: Nikola Gudan

Naslov teme:

Nosivi mjerni sustav za prepoznavanje i klasifikaciju poremećaja tečnosti govora

Naslov teme (engleski):

Wearable measurement system for detection and classification of speech fluency disorders

Mentor:

Prof. dr. sc. Hrvoje Džapo

Profil:

Elektroničko i računalno inženjerstvo

Kratki opis:

Upoznati se s metodama određivanja poremećaja tečnosti govora u logopedskoj dijagnostici i terapiji. Istražiti postojeće sustave koji se koriste u dijagnozi i analizi poremećaja tečnosti govora. Proučiti karakteristike mikrofona prikladnih za snimanje govora u dijagnozi i analizi poremećaja tečnosti govora. Istražiti mogućnosti praćenja razine stresa ispitanika mjerenjem bioloških signala (EKG, psihogalvanski refleks, bioimpedancija kože, fotopletizmografija itd.) i odabrati veličine koje se mjere prikladne za integraciju u nosivi mjerni sustav. Razviti sklopovsko rješenje nosivog baterijski napajanog uređaja prikladnog za nošenje u svakodnevnim situacijama koje treba omogućiti: dugotrajno snimanje govora visokom kvalitetom pomoću odabranog mikrofona, prikupljanje odabranih bioloških signala u svrhu praćenja razine stresa ispitanika i pohranu podataka. Odabrati prikladni mikrokontroler koji će omogućiti snimanje i pohranu mjerenja te će imati dovoljne resurse za izvođenje modela strojnog učenja prilagođenih ugradbenim računalnim sustavima s ograničenim resursima. Integrirati funkcionalnost punjenja baterija, programiranja mikrokontrolera i bežične komunikacije u svrhu spajanja s pametnim telefonom (WiFi, Bluetooth). Izraditi i ispitati sklopovski prototip rješenja.

TO ROKI!

Sadržaj

1. Glavni dio	2
2. Glavna ploča	3
2.1. Mikrokontroler	4
2.1.1. Pierceov oscilator	6
2.1.2. Dizajn oscilatora	7
2.2. RTC	8
2.3. Bežična komunikacija	9
2.4. SD kartica i konektori	9
2.5. Potrošnja	11
2.6. Napajanje i punjač baterije	12
3. Rezultati i rasprava	17
4. Zaključak	18
Literatura	19
Sažetak	20
Abstract	21
A: The Code	22

1. Glavni dio

2. Glavna ploča

Sustav se sastoji od dva uređaja koji rade u simbiozi. Glavna ploča služi za snimanje, obradu i pohranu glasovnih podataka i obradu i pohranu biomedicinskih parametara. Za snimanje biomedicinskih parametara koristi se narukvica. U ovom poglavlju se opisuje glavna ploča.

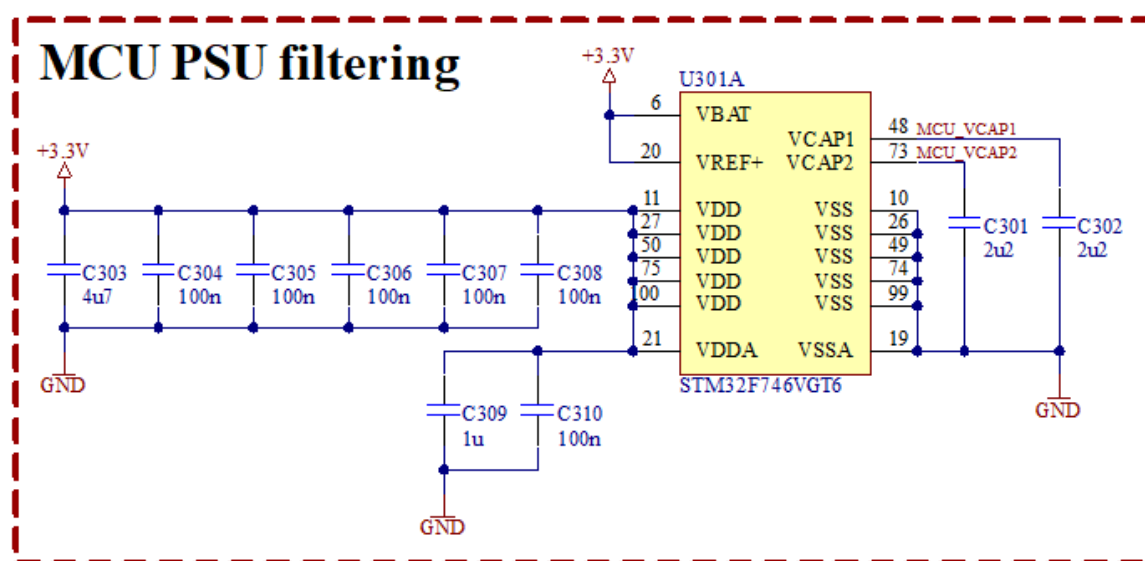
Zahtjevi na glavnu ploču su sljedeći:

- mikrokontroler (engl.*Microcontroller Unit, MCU*), dovoljno moćan za pokretanje neuralnih mreža i obradu podataka
- konektor za SD karticu
- bežična komunikacija putem Wi-Fi ili Bluetooth sučelja
- praćenje vremena putem RTC-a
- mikrofonski za prikupljanje govora korisnika
- sučelja za testiranje i prženje koda na mikrokontroler
- napajanje i punjenje baterije preko USB C priključka
- baterijsko napajanje putem litij-ionske baterije

U daljnjem tekstu ovog poglavlja opisane su odabrane komponente, kao i razlog njihova odabira, način, razlozi i proračuni dizajna pojedinih podsustava, te dizajn, proizvodnja i testiranje PCB-a.

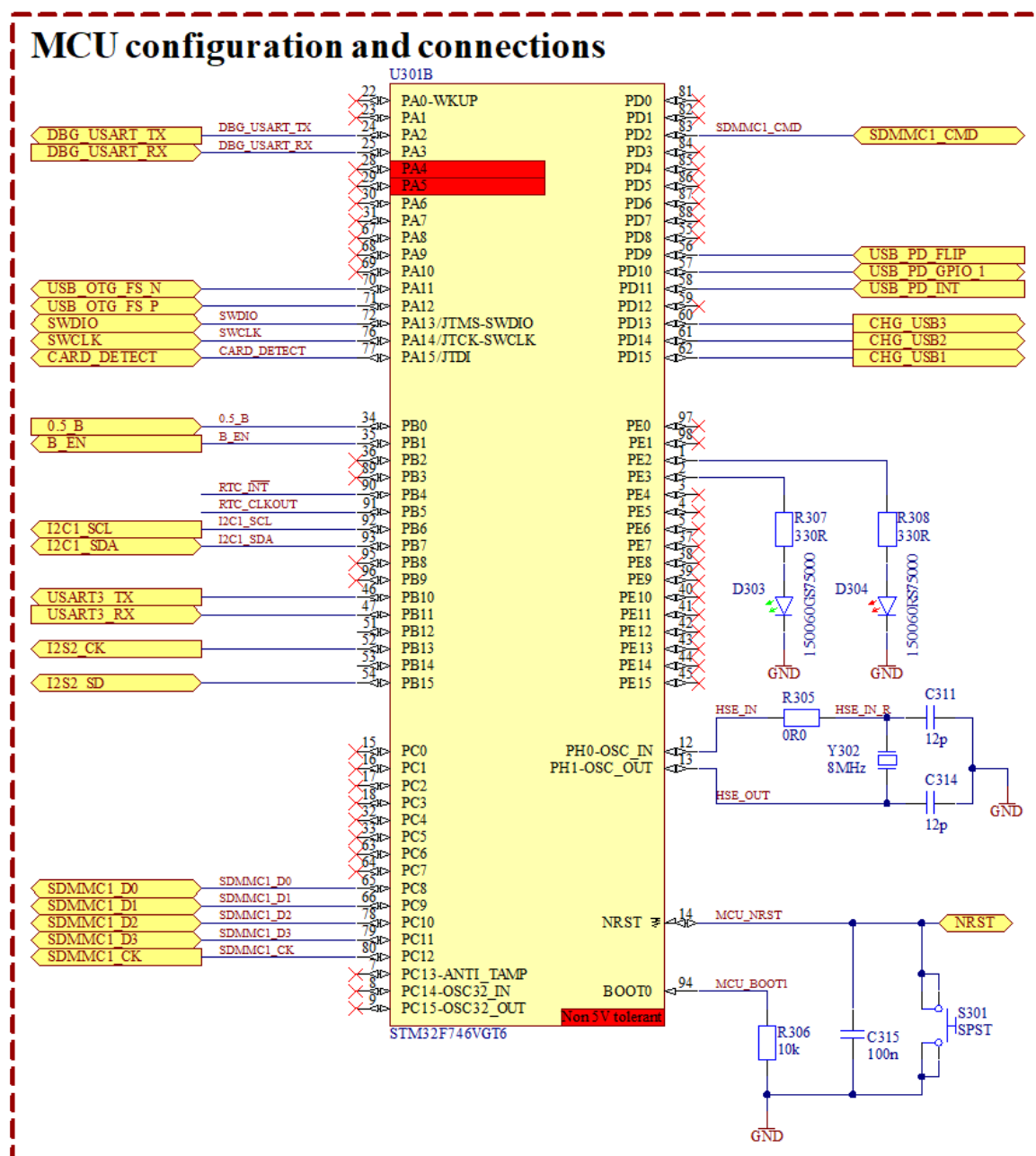
2.1. Mikrokontroler

Za mikrokontroler odabran je STM32F746VG baziran na Cortex-M7 arhitekturi koji integrira funkcionalnosti digitalne obrade signala, bogat sa svim potrebnim periferijama za integriranje s ostatkom sustava i dovoljno procesorske snage za obavljanje zadanog zadatka. Također, programska potpora je razvijena na razvojnom sustavu BLABLABLA, pa je ovaj mikrokontroler odabran radi lakšeg razvoja cjelokupnog sustava. Shema napajanja mikrokontrolera prikazana je na slici 2.1., a shema spajanja mikrokontrolera s ostatkom sustava prikazana je na slici 2.2.



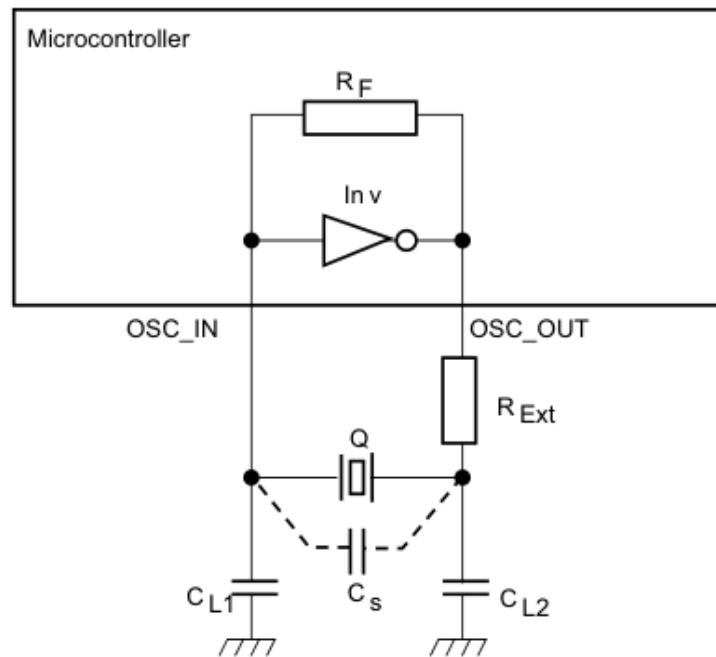
Slika 2.1. Shema napajanja mikrokontrolera

Shema napajanja napravljena je prema uputama proizvođača [1]. S obzirom na to da na ovoj ploči nema analognih signala, nije potrebno raditi analogno-digitalnu pretvorbu, pa su stezaljke za napajanje analognog dijela mikrokontrolera spojene sa stezaljkama za napajanje digitalnog dijela. Također, nije potrebna precizna naponska referenca, a baterijskim napajanjem će upravljati vanjski čip, pa su te dvije stezaljke spojene na napajanje od +3.3 V.



Slika 2.2. Shema periferije mikrokontrolera

Postavljene su dvije svjetleće diode za pomoć pri programiranju i tipka za reset mikrokontrolera. Kod određivanja korištenih stezaljki za pomoć je korišteno razvojno okruženje STM32CubeIDE. Dizajn oscilatora opisan je u priručniku proizvođača STMicroelectronics [2]. Oscilator koji mikrokontroler koristi je Pierceov oscilator (slika 2.3.).



Slika 2.3. Shema Piercovog oscilatora [2]

2.1.1. Pierceov oscilator

Pierceov oscilator se sastoji od invertera Inv , koji radi kao pojačalo, kristala Q , otpornika u povratnoj vezi R_F , vanjskog otpornika za ograničenje izlazne struje invertera R_{Ext} , vanjskih kapaciteta opterećenja C_{L1} i C_{L2} , parazitskog kapaciteta PCB-a i kapaciteta između stezaljki mikrokontrolera C_s .

Uloga otpornika R_F je da natjera inverter da se ponaša poput pojačala. Otpornik povratne veze je spojen između izlaza i ulaza pojačala čime se ulaz i izlaz drže na istom naponi i prisiljava pojačalo da radi u linearnom području rada. Ovaj otpornik je integriran u mikrokontroleru zajedno s pojačalom.

Kapacitet opterećenja je ukupni kapacitet povratne veze oscilatora i mora biti jednak je kapacitetu između stezaljki kristala kako bi oscilator prooscilirao. Kapacitet opterećenja specificira proizvođač kristala i označava se s C_L . Vanjskim kondenzatorima C_{L1} i C_{L2} se postavlja kapacitet opterećenja povratne veze kako bi odgovarao kapacitetu opterećenja kristala. Kapacitet opterećenja računa se prema sljedećoj jednadžbi:

$$C_L = \frac{C_{L1} \cdot C_{L2}}{C_{L1} + C_{L2}} + C_s \quad (2.1)$$

Kod dizajna oscilatora potrebno je izračunati kritično pojačanje petlje:

$$g_{m_{crit}} = 4 \cdot ESR \cdot (2\pi F)^2 \cdot (C_0 + C_L)^2 \quad (2.2)$$

gdje je F frekvencija oscilatora, ESR serijski otpor kristala i C_0 serijski kapacitet kristala. Ovaj parametar je potrebno izračunati kako bi se moglo provjeriti hoće li se oscilator upaliti i prooscilirati. Dobiveni podatak se uspoređuje sa specificiranim vrijednostima transkonduktivnosti g_m u dokumentaciji mikrokontrolera. Da bi oscilator proradio mora se proračunati margina pojačanja i treba vrijediti:

$$gain_{margin} = \frac{g_m}{g_{m_{crit}}} > 5 \quad (2.3)$$

Kako ne bi došlo do kvara kristala potrebno je ograničiti snagu koja se na njemu disipira s pomoću vanjskog otpornika R_{Ext} . Maksimalna snaga koja se može disipirati na kristalu naznačena je u dokumentaciji proizvođača. Ovaj otpornik s kondenzatorom C_{L2} formira niskopropusni filter kako bi oscilator proradio na osnovnoj frekvenciji, a ne na višim harmonicima. Ako snaga disipirana na kristalu bude veća od maksimalne dozvoljene onda je vanjski otpornik obavezan i mora se proračunati, u suprotnom ga nije potrebno stavljati. Vrijednost otpornika se računa na sljedeći način:

$$R_{Ext} = \frac{1}{2\pi F C_{L2}} \quad (2.4)$$

2.1.2. Dizajn oscilatora

Oscilator je vidljiv na slici 2.2. Odabran je kristal NX8045GB proizvođača NDK. Njegove karakteristike su sljedeće:

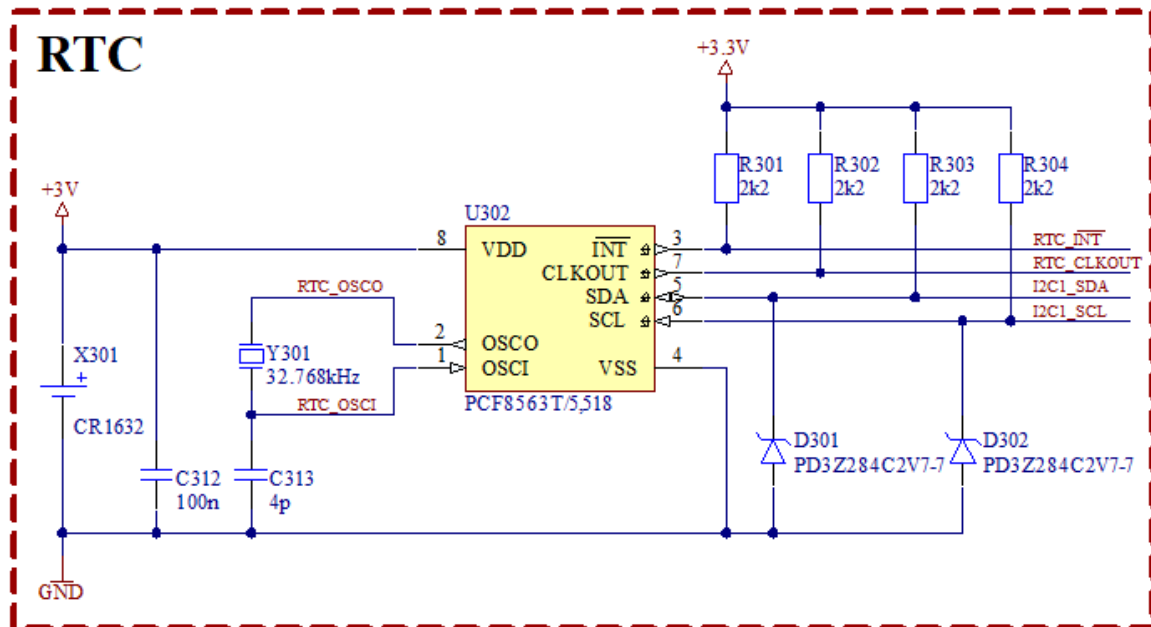
- $C_L = 2 \text{ pF}$
- $ESR = 200 \Omega$
- $F = 8 \text{ MHz}$

C_0 nije naznačen pa se uzima vrijednost 0. Uzimajući za parazitni kapacitet $C_s = 2 \text{ pF}$, i koristeći formulu 2.1 dobiju se vrijednosti kondenzatora $C_{L1} = C_{L2} = 12 \text{ pF}$. Odabir pa-

razitnog kapaciteta je odokativan jer se ne može znati unaprijed bez mjerenja dovršene tiskane pločice. Kod odabira kondenzatora potrebno je obratiti pažnju na dielektrik kondenzatora i tolerancije. Kako bi frekvencija oscilatora bila što stabilnija potrebno je koristiti temperaturno stabilan dielektrik, odnosno kondenzatore klase 1. Korišteni kondenzatori imaju COG dielektrik. Koristeći jednadžbu 2.2 dobiva se $g_{m_{crit}} = 0.1294 \text{ mA/V}$. Iz dokumentacije mikrokontrolera se dobiva $g_m = 1 \text{ mA/V}$. Iz uvjeta 2.3 dobiva se $gain_{margin} = 7.73$, čime je uvjet zadovoljen. S obzirom na to da nije moguće odrediti koliko će se kristal grijati, za vanjski otpornik postavljen je otpornik vrijednosti 0Ω , pa u slučaju prevelike disipacije snage na kristalu moguće je na njegovo mjesto zalemiti otpornik odgovarajuće vrijednosti prema jednadžbi 2.4

2.2. RTC

S obzirom na to da uređaj treba uskladiti podatke s mikrofona i narukvice potrebno je precizno praćenje vremena. U tu svrhu dodan je vanjski RTC PCF8563 proizvođača NXP [3]. Za ovaj čip postoji već razvijena programska podrška u ZephyrOS operacijskom sustavu za rad u stvarnom vremenu, pa je razvoj programske potpore za uređaj znatno olakšana. Shema RTC-a prikazana je na slici 2.4. S obzirom na to da se litij-ionska baterija, koja

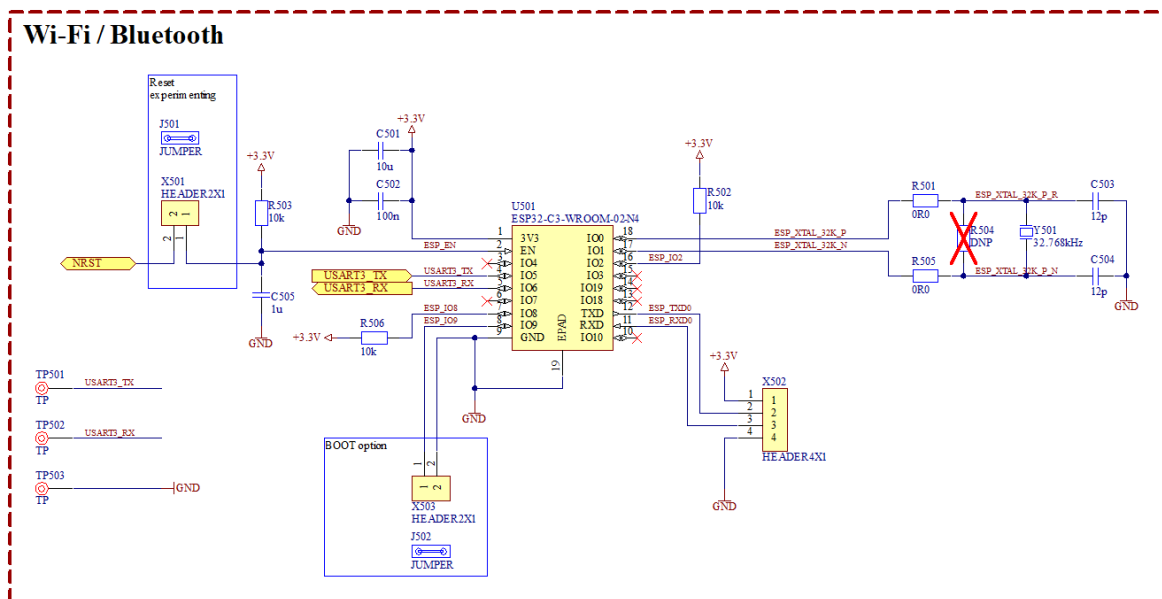


Slika 2.4. Shema RTC-a

napaja cijeli uređaj, može isprazniti, otkopčati ili na neki drugi način se može prekinuti

napajanje s vanjske baterije, RTC se napaja iz litijske baterije kako praćenje vremena ne bi bilo izgubljeno. S obzirom na to da je napon litijske baterije 3 V, a napon ostatka sustava 3.3 V, na I²C linije dodane su Zener diode s probojnim naponom od 2.7 V, čime se maksimalni napon ograničava kako ne bi došlo do oštećenja čipa tijekom komunikacije s mikrokontrolerom.

2.3. Bežična komunikacija

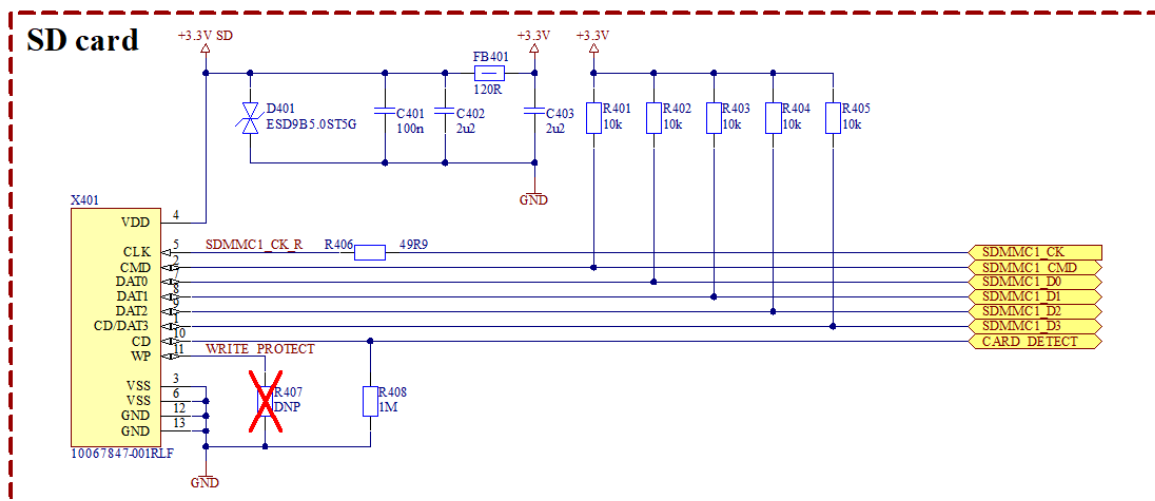


Slika 2.5. Shema podsustava za bežičnu komunikaciju

Shema podsustava za bežičnu komunikaciju prikazana je na slici 2.5. Radi lakšeg razvoja odabran je razvojni sustav ESP32-C3-WROOM-02 proizvođača Espressif Systems. Shema je razvijena prema preporukama proizvođača [4]. Dodan je još jedan kratkospojnik za ispitivanje funkcionalnosti reseta sustava.

2.4. SD kartica i konektori

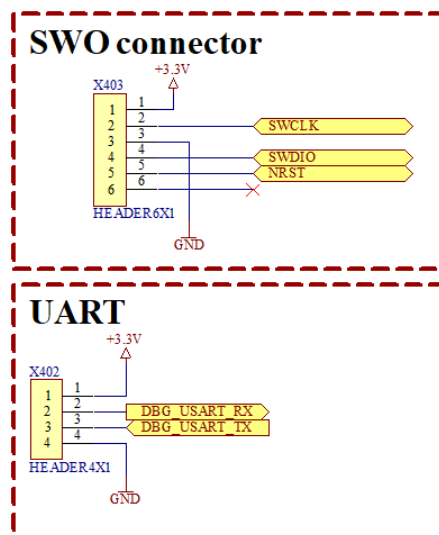
Za pohranu podataka na uređaju se nalazi SD kartica standardne veličine. Razlog odabira ove veličine jest taj da uređaj onda podržava i standardnu SD karticu i adapter za SD kartice manje veličine. Shema SD konektora prikazana je na slici 2.6. Konektor ima ESD zaštitu u obliku diode D401 i filtriranje napajanja preko mreže koja se sastoji od kondenzatora i feritne perle. Na svim komunikacijskim linijama se nalaze pritezni otpornici, a linija za takt ima terminacijski otpor od 49.9 Ω kako bi se suzbilo odzvanjanje. Kako



Slika 2.6. Shema konektora SD kartice

CD stezaljka za detekciju spojene kartice ne bi ostala plutajuća dodan je pritezni otpornik od 1 MΩ. Razlog odabira tako velikog otpora je unutarnji pritezni otpornik prema napajanju na SD karticama, pa se velikim otporom suzbija efekt naponskog djelila.

Za prženje korisničkog programa na mikrokontroler potreban je konektor za SWO sučelje. Dodatno, za testiranje programske podrške i komunikaciju s računalom potreban je konektor za UART sučelje. Sheme konektora prikazane su na slikama 2.7.



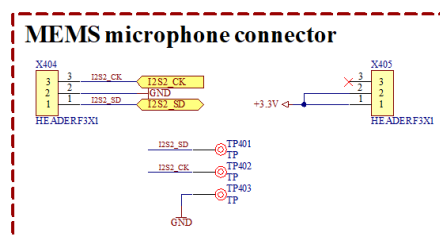
Slika 2.7. Shema konektora za UART i SWO sučelje

Za mikrofon se koristi evaluacijska pločica STEVAL-MIC003V1 (slika 2.8.) na kojoj se nalazi MEMS mikrofon IMP34DT05 proizvođača STMicroelectronics [5]. Za ovaj mikrofon također postoji razvijena programska podrška unutar ZephyrOS operacijskog sustava

za rad u stvarnom vremenu. Ove evaluacijske pločice na sebi imaju montirane muške konektore s razmakom od 7 mm, pa se ovdje koriste ženski konektori (slika 2.9.). Kraj



Slika 2.8. STEVAL-MIC003V1



Slika 2.9. Konektori za MEMS

konektora su postavljene testne točke za promatranje signala preko logičkog analizatora u slučaju da postoje poteškoće tijekom programiranja ili rada.

2.5. Potrošnja

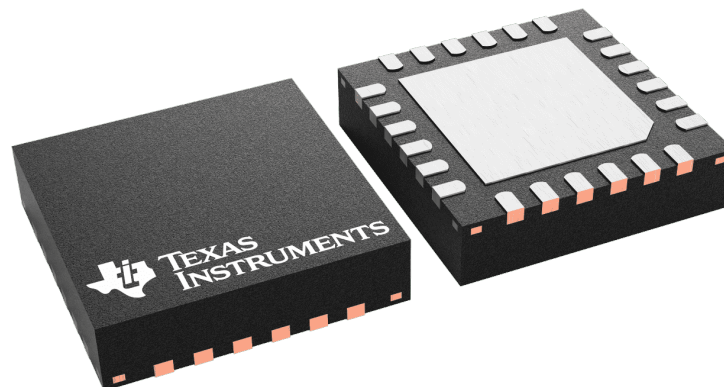
Sada kada su sve komponente odabrane, moguće je napraviti proračun potrošnje kako bi se mogao dizajnirati sustav napajanja. Napravljena je tablica potrošnje za sustave koji se napajaju sa 3.3 V (tablica 2.1.). Za maksimalne i minimalne vrijednosti potrošnje uzeti su podaci iz dokumentacije komponenata, a prosječna potrošnja je uzeta odokativno jer je nemoguće znati prosječnu potrošnju bez mjerenja. Sada je moguće odabrati prikladne komponente za napajanje.

Tablica 2.1. Potrošnja struje za sustave koji se napajaju sa 3.3 V

	Min. [mA]	Avg. [mA]	Max. [mA]
MCU	0,00	60,00	320,00
RTC	0,00	0,80	50,00
SD Card	1,25	25,00	100,00
MEMS	0,00	0,65	10,00
Wireless	13,00	82,00	350,00
Total on SYS	14,25	168,45	830,00

2.6. Napajanje i punjač baterije

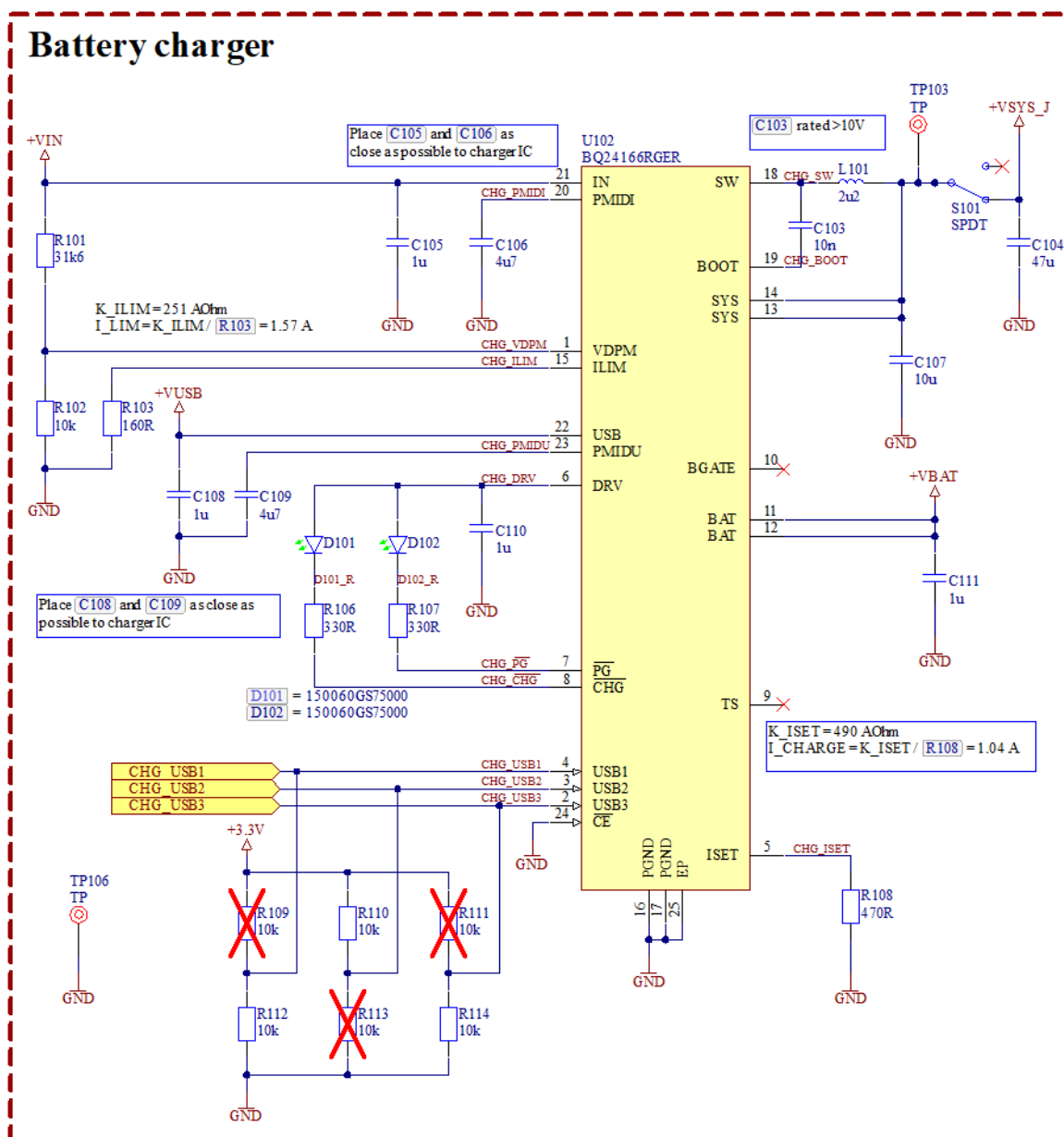
Za punjač baterije odabran je BQ24166 proizvođača Texas Instruments (slika 2.10.). Ovaj integrirani krug u sebi ima integriran sustav za upravljanje tokom snage [6]. BQ24166 se može napajati s dva ulaza; ulaz za USB ili ulaz za druge vrste napajanja (AC/DC adapter, DC laboratorijski izvor napajanja, itd.), a da pritom u isto vrijeme puni bateriju i na svom izlazu daje napon baterije, s tim da izlazni napon neće pasti ispod 3.5 V. U tu svrhu u čip je ugrađen silazni prekidački regulator napona, kako bi se kod punjenja baterije konstantnim naponom dobio izlazni napon od 4.2 V potreban za punjenje. Ako na ulaz čipa nije spojeno ništa, onda se na izlaz direktno prosljeđuje napon baterije. U slučaju da napon baterije padne ispod 3.5 V, a da pritom ništa nije spojeno na ulaz čipa, izlazni napon se regulira na 3.5 V, čime se baterija može u potpunosti iskoristiti. Ovaj čip također ima ugrađene zaštite od prednapona, a jednim otpornikom moguće je i programirati prekostrujnu zaštitu. Također je jednim otpornikom moguće i programirati maksimalnu struju punjenja baterije. Shema baterijskog punjača prikazana je na slici 2.11. Blokadni kon-



Slika 2.10. BQ24166 u QFN kućištu

denzatori su postavljeni prema uputama proizvođača, a potrebno je bilo odabrati odgovarajuće otpornike za programiranje prekostrujne zaštite i maksimalne struje punjenja,

kao i prikladnu zavojnicu. Kako bi se navedene komponente odabrale na odgovarajuć način, potrebno je znati izlaznu struju iz punjača.



Slika 2.11. Shema baterijskog punjača

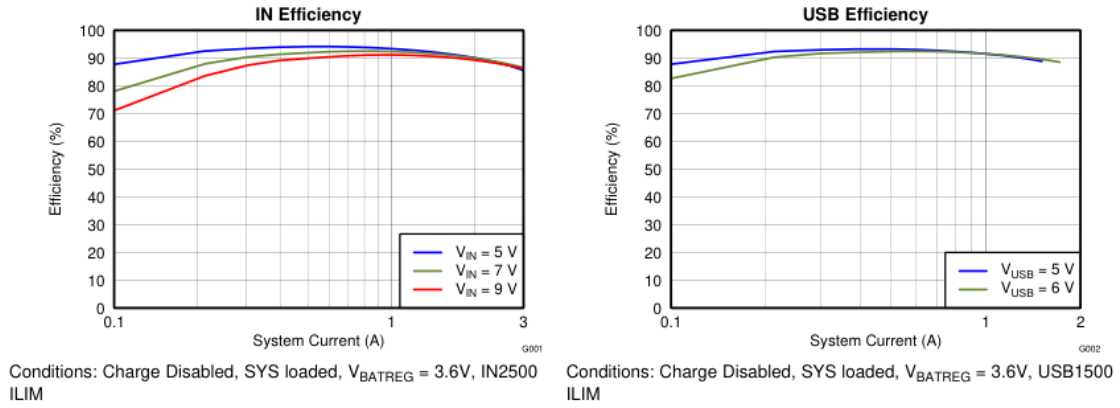
Na izlazu punjača se nalazi linearni regulator napona s niskim padom napona (190 mV na struji od 1.5 A) koji regulira napon na 3.3 V (slika 2.13.). Imajući na umu da je ulazna struja linearnog regulatora otprilike ista kao i izlazna struja, dobiva se izlazna struja baterijskog punjača, što odgovara proračunu iz tablice 2.1., a to je ujedno i struja koju daje baterija. Da bi se dobila maksimalna ulazna struja punjača potrebno je uzeti u obzir najgori mogući slučaj: baterija je odspojena, potrošnja sustava je maksimalna.

Unutar punjača se nalazi silazni pretvarač, dakle vrijedi:

$$P_{IZ} = \eta \cdot P_{UL} \quad (2.5)$$

$$U_{IZ} \cdot I_{IZ} = \eta \cdot U_{UL} \cdot I_{UL} \quad (2.6)$$

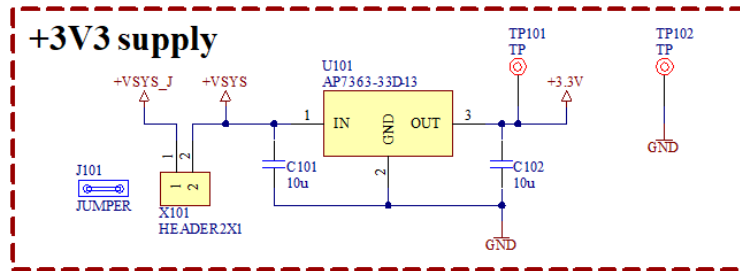
gdje je U_{IZ} i I_{IZ} izlazni napon, odnosno struja, U_{UL} i I_{UL} , ulazni napon, odnosno struja, a η učinkovitost. Bacajući pogled u dokumentaciju proizvođača, može se uzeti efikasnost od 90 % (slika 2.12.). Iz jednadžbe 2.6 se sada može dobiti izraz za ulaznu struju:



Slika 2.12. Ovisnost efikasnosti o izlaznoj struji punjača [6]

$$I_{UL} = \frac{\eta \cdot U_{IZ} \cdot I_{IZ}}{U_{UL}} \quad (2.7)$$

Iz jednadžbe 2.7 je vidljivo da će ulazna struja biti najveća kada je ulazni napon što manji, što u ovom slučaju iznosi 5 V. Za izlazni napon se također uzima najgori slučaj od 4.2 V. Sada se za maksimalnu ulaznu struju punjača uz odspojenu bateriju dobiva iznos od $I_{UL,BATOFF} = 627.48 \text{ mA}$.



Slika 2.13. Linearni regulator napona

Imajući na umu da će do maksimalne potrošnje doći rijetko kada, ako uopće, i či-

njenicu da će sustav imati mogućnost ulaska u način rada mirovanja, može se uzeti kapacitet baterije od 2 Ah, čime se postiže balans trajanja baterije i cijene. U tom slučaju dovoljno je ograničiti punjenje baterije na 1 A, a izračun otpornika je vidljiv na shemi (slika 2.11.). Odgovarajuće konstante za izračun otpornika su dobivene iz dokumentacije proizvođača. Sada je isto pomoću jednadžbe 2.7 moguće izračunati ulazni struju; $I_{UL,BATCHG} = 756 \text{ mA}$. Ukupna maksimalna ulazna struja je stoga:

$$I_{UL,MAX} = I_{UL,BATCHG} + I_{UL,BATOFF} = 1.38A \quad (2.8)$$

Dodajući malo sigurnosne margine, za prekostrujnu zaštitu se onda uzima 1.5 A. Za potrebe testiranja i otklanjanje eventualnih grešaka na ulaz linearnog regulatora dodan je kratkospojnik.

S obzirom na mnoge opasnosti koje litij-ionske baterije nude, potrebno je dizajnirati prikladnu zaštitu za bateriju. U tu svrhu odabran je BQ29700 proizvođača Texas Instruments,

Nešto

3. Rezultati i rasprava

Nešto

4. Zaključak

Literatura

- [1] *Getting started with STM32F7 Series MCU hardware development*, STMicroelectronics, Veljača 2017., rev. 5.
- [2] *Oscillator design guide for STM8AF/AL/S, STM32 MCUs and MPUs*, STMicroelectronics, Travanj 2023., rev. 19.
- [3] *PCF8563 Real-time clock/calendar*, NXP USA Inc, Listopad 2015., rev. 11.
- [4] *ESP32-C3-WROOM-02 Datasheet*, Espressif Systme, Veljača 2023., v1.3.
- [5] *Microphone coupon board based on the IMP34DT05 digital MEMS*, STMicroelectronics, Lipanj 2018., rev. 1.
- [6] *2.5A, Dual-Input, Single Cell Switch Mode Li-Ion Battery Charger with Power Path Management*, Texas Instruments, Ožujak 2013., rev. B.

Sažetak

Nosivi mjerni sustav za prepoznavanje i klasifikaciju poremećaja tečnosti govora

Nikola Gudan

Unesite sažetak na hrvatskom.

Ključne riječi: prva ključna riječ; druga ključna riječ; treća ključna riječ

Abstract

Wearable measurement system for detection and classification of speech fluency disorders

Nikola Gudan

Enter the abstract in English.

Keywords: the first keyword; the second keyword; the third keyword

Privitak A: The Code