

Smart pojačalo na bazi TAS2764 u merno-informacionom sistemu za Industriju 4.0

Boris Jeličić, Marjan Urekar, *Member, IEEE*

Apstrakt—U ovom radu je predstavljeno *smart* integrisano audio pojačalo TAS2764 koje će uz pomoć STM32F407VG mikrokontrolera biti kontrolisano putem internet stranice. Pomoću podataka koji će biti prosleđivani putem Wi-Fi modula moći ćemo da zadavanjem komandi na internet stranici kontrolišemo pojačalo. Pametno audio pojačalo TAS2764 je dizajnirano da obezbedi izlaz visokog napona, visoku efikasnost i nisku potrošnju energije za razne aplikacije, što ga čini boljim od drugih pojačala u smislu energetske efikasnosti. Elektronska šema projektovana je u KiCadu dok je kod pisan u STM32CubeIDE okruženju.

Ključne reči—Pojačalo, TAS2764, KiCad, STM32.

I. UVOD

Audio pojačavači su elektronski uređaji pomoću kojih se pojačavaju i, pomoću zvučnika ili slušalica, reprodukuju električni signali koji se dobijaju na izlaznim priključcima mikrofona, detektora radio i TV prijemnika, glave magnetofona, kasetofona ili gramofona, CD plejera, zvučne kartice kompjutera i ostalih izvora audio signala. Učestanosti ovih signala se nalaze u opsegu od oko 20 Hz do oko 20 kHz, pa, pošto se u našoj stručnoj literaturi ovi signali nazivaju NF (nisko frekventni) signali, često se i audio pojačavači nazivaju NF pojačavači.

Osnovne tehničke karakteristike audio pojačavača, na osnovu kojih se sagledavaju njihove mogućnosti, su pojačanje, maksimalna izlazna snaga, koeficijent korisnog dejstva, propusni opseg, dinamika i izobličenja. Pored ovih, postoje i karakteristike koje su značajne za praktičnu realizaciju uređaja. To su napon jednosmernog izvora iz koga se pojačavač napaja energijom, otpornost zvučnika priključenog na izlaz pojačavača itd [1].

Cilj ovog rada je napraviti pametno audio pojačalo koje bi kako sa jedne strane pomoglo industrijskim proizvodnim sistemima tako i sa druge strane omogućilo prosečnom korisniku lakše upravljanje i bolju kontrolu zvuka samog pojačala.

TAS2764 predstavlja audio pojačalo klase D sa mono digitalnim ulazom optimizovan za efikasno uvođenje velike vršne snage u male zvučnike. Pojačalo klase D je sposobno da isporuči 13 W kontinualne snage u opterećenje od 4 Ω sa manje od 1 % THD+N (*Total Harmonic Distortion Plus Noise* - Totalna harmonijska distorzija plus šum) pri naponu

napajanja od 12 V. Podržava opseg ulaznog napona od 2.3 V do 16 V i dolazi sa širokim spektrom zaštitnih funkcija. Takođe je veoma efikasno, sa efikasnošću do 90%. Pored toga, dostupno je u širokom spektru pakovanja, što ga čini pogodnim za različite primene [2]. Ovo pametno audio pojačalo pruža nekoliko prednosti u odnosu na druga uključujući, poboljšanu tačnost zvuka, bolju energetske efikasnost i bolju kontrolu zvuka. Uz poboljšanu audio tačnost, TAS2764 može da obezbedi precizniji i detaljniji prikaz audio signala, što rezultira jasnijim i prijatnijim iskustvom slušanja. Pored toga, pametno audio pojačalo može smanjiti količinu energije koja se koristi, što rezultira nižim troškovima električne energije i poboljšanom dugovečnosti pojačala. Na kraju, uz bolju kontrolu zvuka, TAS2764 može da obezbedi preciznije prilagođavanje i optimizaciju zvuka, omogućavajući prilagođeno zvučno iskustvo. *Y-Bridge* arhitektura poboljšava ukupnu efikasnost pri niskom nivou izlazne snage i u režimu mirovanja. Integrirani senzor napona i struje zvučnika omogućava praćenje ponašanja zvučnika u realnom vremenu. Do osam TAS2764 uređaja može da deli zajedničku magistralu preko I²S/TDM i I²C interfejsa. TAS2764 se može koristiti u širokom spektru aplikacija, uključujući sisteme za kućnu zabavu, automobilske audio sisteme i prenosive audio uređaje.

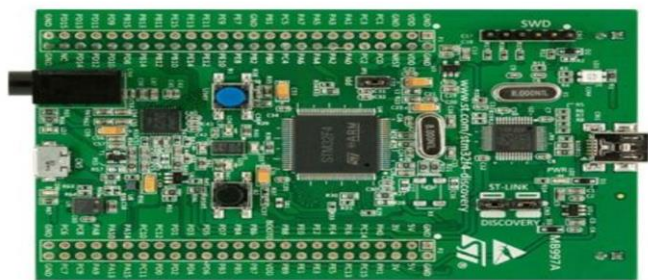


Sl. 1. TAS2764, 30-pinsko pakovanje, preuzeto sa: <https://www.ti.com/product/TAS2764/part-details/TAS2764YBHR>

A. Princip rada

Princip rada ovog *smart* integrisanog audio pojačala zasniva se na tome da mikrokontroler dobija informacije vezane za pojačalo putem I²C komunikacije, nakon čega te informacije obrađuje i putem Wi-Fi modula šalje određenoj internet stranici preko koje bi se vršilo upravljanje audio pojačalom.

Boris Jeličić – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21120 Novi Sad, Srbija (e-mail: borisoje@gmail.com)
Marjan Urekar - Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21120 Novi Sad, Srbija (e-mail: urekarm@uns.ac.rs)



Sl. 2. Izgled mikrokontrolera STM32F407VG korišćenog u projektu, preuzeto sa: <https://embedded-lab.com/blog/tag/stm32f407vg-discovery/>

II. INDUSTRIJA 4.0

A. Uvod u četvrtu industrijsku revoluciju

Industrija 4.0 je termin koji se koristi da opiše najnoviju industrijsku revoluciju koja se dešava zbog napretka u tehnologiji. Ova revolucija je vođena razvojem novih tehnologija kao što su veštačka inteligencija, robotika, internet stvari, 3D štampa i još mnogo toga. Ove tehnologije revolucionišu način na koji preduzeća proizvode i isporučuju robu i usluge. Svet je mnogo povezanije i automatizovanije mesto i ljudi mogu da koriste ove tehnologije da bi svoj život učinili lakšim i produktivnijim. Temelji Industrije 4.0 su "pametni" računari urađeni u CPS (cyber-physical systems - pametni sistemi koji uključuju projektovane interakcione mreže fizičkih i računarskih komponenti). Ovi računari obrađuju informacije prikupljene preko senzora i oni su sposobni da odrede i mere trenutno stanje opreme i procesa, analiziraju situaciju i pokrenu određene akcije koje poboljšavaju ukupno stanje. Ovo je urađeno kroz povezivanje hardvera i softvera novim digitalnim umrežavanjem [3]. Glavni metrološki zahtevi sa Industrijom 4.0 su: vreme i ekonomičnost, realno vreme izvršenja, automatizacija i velika brzina.

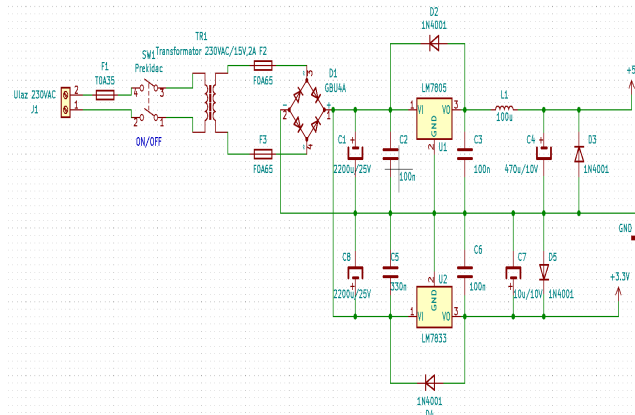
Internet stvari (IoT) je mreža fizičkih objekata koji su povezani na internet i mogu da prikupljaju i razmenjuju podatke. Ovi povezani uređaji mogu se kretati od svakodnevnih predmeta kao što su sijalica ili frižider, do složenijih mašina kao što su automobili i roboti koji se sami voze. Svakodnevni predmeti sada mogu da razgovaraju jedni sa drugima i da se kontrolišu daljinski. Na primer, ljudi mogu da upale svetla u svojoj sobi ili da provere temperaturu u frižideru sa svog telefona. Internet stvari takođe ima potencijal da učini život lakšim i efikasnijim, omogućavajući ljudima da automatizuju zadatke i daljinski nadgledaju svoje okruženje.

III. ANALIZA DELOVA SISTEMA

A. Elektronska šema sistema

Elektronska šema ovog sistema je projektovana u programu KiCad. KiCad je softverski paket otvorenog koda za automatizaciju elektronskog dizajna. Olakšava dizajn i simulaciju elektronskog hardvera, i uključuje uređivač šema i editor rasporeda PCB koji se koriste za projektovanje i proizvodnju štampanih ploča. KiCad takođe uključuje biblioteku komponenti, 3D preglednik i razne druge alate koji pomažu u dizajnu, simulaciji i izradi prototipa [4].

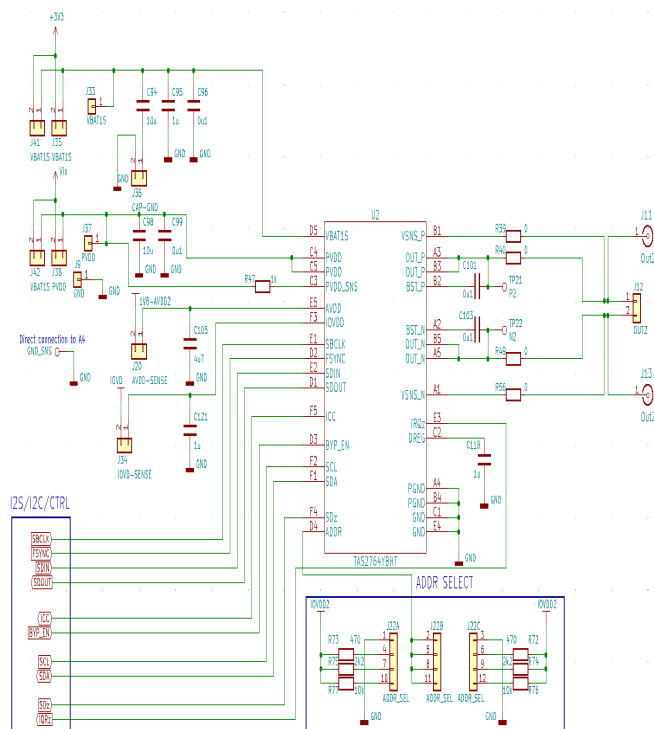
Uređaj se napaja naponom iz mreže (230 VAC, 50 Hz) a prilagođavanje napona potrebama se vrši pomoću transformatora i kola za ispravljanje napona. Pomoću transformatora transformiše se mrežni napon od 230 V u niži napon od 15 V. Napon od 15 V na sekundaru transformatora se ispravlja pomoću Grecovog spoja, GBU4A, koji se sastoji od četiri diode i služi za pretvaranje naizmeničnog napona u jednosmerni. Dalje u kolu za napajanje imamo stabilizatore napona LM7805 i LM7833 koji su iskorišteni za stabilizaciju napona od 5 V odnosno od 3.3 V koji su potrebni za dalji rad. Da bi stabilizatori pravilno radili, potrebno je na njihov ulaz dovesti napon koji je bar za 3 V veći od napona na izlazu. Dioda D3 i D5 štite ulaz od pogrešnog inverznog napona. Kondenzatori u kolu služe kako za dodatnu stabilnost stabilizatora napona tako i za sprečavanje oscilacija.



Sl. 3. Šema napajanja sistema

B. Audio pojačavač TAS2764

Smart integrisano audio pojačalo u projektu je realizovano pomoću TAS2764 integrisanog kola.



Sl. 4. Šema pojačala

TAS2764 radi koristeći TDM/I²S interfejs. Audio ulaz i izlaz se obezbeđuju preko FSINC, SBCLK, SDIN i SDOUT pinova koristeći formate uključujući I²S, *Left Justified* i TDM. Konfiguracija i status se obezbeđuju preko SDA i SCL pinova koristeći I²C protokol. Takođe, TAS2764 ima globalnu 7-bitnu I²C adresu 0x80. Kada je omogućeno, uređaj će dodatno reagovati na I²C komande na ovoj adresi bez obzira na podešavanja ADDR pina. Ovo se koristi za ubrzavanje konfiguracije uređaja kada se koristi više TAS2764 uređaja i programira slična podešavanja na svim uređajima.

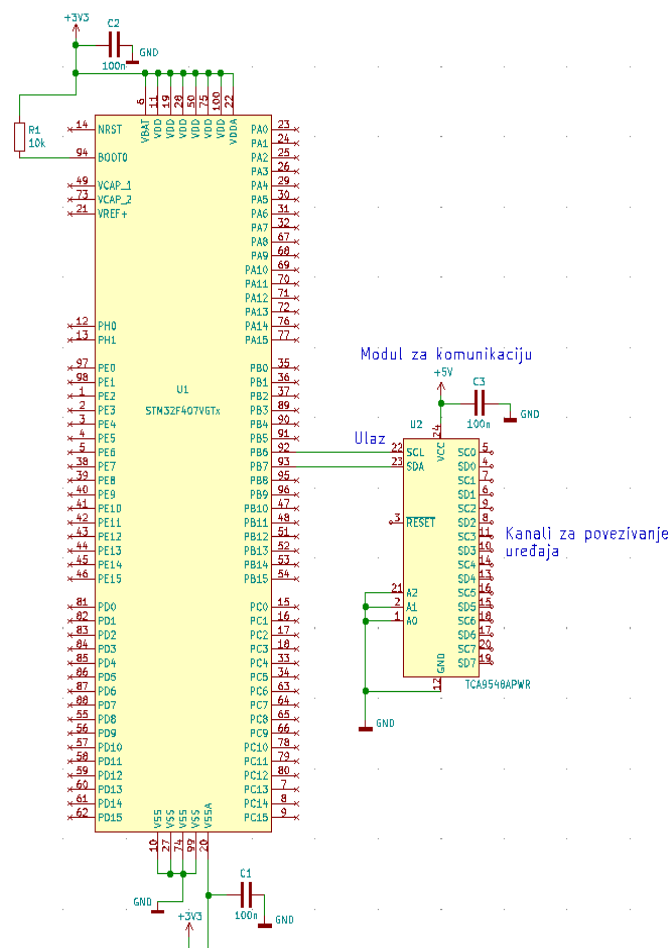
I²C magistrala koristi dva signala, SDA (linija serijskih podataka) i SCL (linija serijskog sata), za komunikaciju između integrisanih kola u sistemu koristeći serijski prenos podataka. Adresa i 8-bitni podaci se prenose počevši od najznačajnijeg bita (MSB). Pored toga, prijemni uređaj potvrđuje svaki bajt koji se prenosi na magistralu sa bitom za potvrdu.

C. Mikrokontroler

Mikrokontroler korišćen u ovom radu je STM32F407VG. On je dovoljan da zadovolji zahteve projekta. Ovaj mikrokontroler je adekvatan za TAS2764 i oni se povezuju preko I²C magistrale. Da bismo povezali pojačalo i mikrokontroler, moramo prvo da konfigurišemo I²C interfejs TAS2764 da bude kompatibilan sa STM32F407VG. Kada se to uradi, mogu se koristiti I²C pinovi na mikrokontroleru da se povežemo sa pojačalom i upišemo potrebne registre konfiguracije. Takođe mora da se konfiguriše I²C taktna frekvencija i *slave* adresa TAS2764. Za STM32F407VG, I²C pinovi su PB6 (SCL) i PB7 (SDA). Za TAS2764, I²C taktna frekvencija je 1MHz, a *slave* adresa je 0x3B. Kada su pinovi i konfiguracija postavljeni, možemo koristiti I²C biblioteku u mikrokontroleru za slanje i primanje podataka do i od pojačala. U ovom radu iskorišten je I²C multiplekser TCA9548A kako bi povezali TAS2764 sa IoT uređajem. TCA9548A je I²C multiplekser, što znači da se može koristiti za povezivanje više I²C uređaja na jednu I²C magistralu. Ovaj uređaj ima osam dvosmernih prekidača za prevođenje koji se mogu kontrolisati preko I²C magistrale. SCL/SDA uzvodni par se širi na osam nizvodnih parova ili kanala. Može se izabrati bilo koji pojedinačni SCn/SDn kanal ili kombinacija kanala, [5].

Kada je više uređaja povezano na I²C magistralu, svi dele iste podatke i linije sata, što potencijalno može dovesti do sukoba i grešaka u komunikaciji ako više uređaja pokuša da komunicira u isto vreme. Zbog toga je u ovom radu iskorišćen multiplekser kako bi se izbegli ti konflikti i greške u komunikaciji. Korišćenje multipleksera takođe omogućava da se dinamički prelazi između različitih I²C uređaja na magistrali i da se tako izbegnu konflikti.

Pored kompatibilnosti sa TAS2764 ovaj mikrokontroler je izabran i zbog svoje mogućnosti povezivanja sa Wi-Fi modulom. Wi-Fi modul je komponenta koja omogućava bežičnu komunikaciju između uređaja. To je jednostavan i jeftin način da se izgradi komunikaciona mreža u ugrađenom sistemu. Ovi moduli se takođe koriste za slanje i primanje podataka preko Wi-Fi mreže, prihvatanje komandi i za kontrolu drugih uređaja preko interneta.



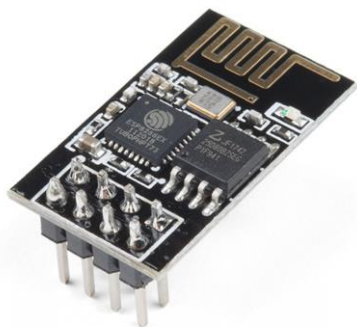
Sl. 5. STM32F407VG

Pored kompatibilnosti sa TAS2764 ovaj mikrokontroler je izabran i zbog svoje mogućnosti povezivanja sa Wi-Fi modulom. Wi-Fi modul je komponenta koja omogućava bežičnu komunikaciju između uređaja. To je jednostavan i jeftin način da se izgradi komunikaciona mreža u ugrađenom sistemu. Ovi moduli se takođe koriste za slanje i primanje podataka preko Wi-Fi mreže, prihvatanje komandi i za kontrolu drugih uređaja preko interneta.

U ovom radu zamišljeno je da upravo pomoću tog Wi-Fi modula šaljemo podatke o pojačalu na određeni uređaj gde bi se ti podaci prikazivali na određenoj internet stranici. Sa te stranice bi se vršila kontrola audio pojačala pomoću komandi koje bismo zadavali. Da bismo povezali STM32F407VG i Wi-Fi modul, potrebno je da konfigurišemo pinove mikrokontrolera i modula. Pored toga, potrebno je da konfigurišemo podešavanja modula, kao što su naziv Wi-Fi mreže i lozinka. Kada su pinovi i konfiguracija postavljeni, može se koristiti I/O port STM32F407VG za slanje i primanje podataka do i od Wi-Fi modula.

Za potrebe ovog projekta zamišljeno je da se koristi Wi-Fi čip ESP-01. Ovaj čip omogućava mikrokontrolerima pristup Wi-Fi mreži. ESP-01 služi za slanje i primanje podataka preko Wi-Fi mreže, prihvatanje komandi preko te mreže i kontrolu drugih uređaja preko interneta.

Kašnjenja zbog Wi-Fi prenosa mogu potencijalno uticati na odziv audio pojačala ako je kašnjenje dovoljno značajno da izazove primetno kašnjenje između izvora zvuka i pojačala. Ono što bi ograničilo uticaj takvih kašnjenja na kvalitet zvuka je pre svega stabilnost mrežne veze i da brzina prenosa podataka bude dovoljna da spreči kašnjenja i gubitak podataka. Generalno gledano, visokokvalitetna audio pojačala su otporna na manja kašnjenja u prenosu i kvalitet zvuka se ne bi promenio.



Sl. 6. ESP-01 Wi-Fi modul, preuzeto sa:

<https://www.faranux.com/product/esp8266-esp-01-wifi-wireless-transceiver/>

IV. PRIMENA SMART AUDIO POJAČALA U INDUSTRIJI 4.0

Pametna audio pojačala su veoma pogodna za upotrebu u aplikacijama Industrije 4.0 zbog svoje visoke efikasnosti i male potrošnje energije. Ova pojačala su dizajnirana da obezbede izlaz visokog napona, što je neophodno za mnoge industrijske primene. Pored toga, mnoga pametna audio pojačala dolaze sa algoritmima za poboljšanje i zaštitu zvuka, koji mogu optimizovati audio performanse i osigurati da kvalitet zvuka ostane visok. Ovo ih čini idealnim za upotrebu u automatizovanim proizvodnim sistemima, jer mogu da obezbede pouzdane audio performanse uz minimalnu potrošnju energije. Takođe, mnoga pametna audio pojačala nude funkcije kao što je digitalna obrada signala, što može dodatno poboljšati kvalitet i preciznost zvuka.

Samim tim što pametna audio pojačala donose toliko dobrog, ona postaju sve važnija u Industriji 4.0 jer omogućavaju kompanijama da poboljšaju efikasnost svojih proizvodnih procesa. Mogu da obezbede automatizovanu kontrolu i praćenje audio signala, smanjujući potrebu za ručnom intervencijom. Pored toga, mogu pružiti povratne informacije o stanju proizvodne linije, pomažući kompanijama da brzo i efikasno identifikuju i reše bilo kakve probleme. Pametna audio pojačala mogu pomoći i u optimizaciji kvaliteta audio signala i smanjenju buke, što može dovesti do poboljšanja kvaliteta proizvoda i većeg zadovoljstva kupaca [6].

V. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljeno *smart* integrisano audio pojačalo koje bi bilo kontrolisano putem internet stranice. Ovo pojačalo bi nudilo algoritme za akustičko poboljšanje i zaštitu za optimizaciju audio performansi, i to bi ga činilo boljim od ostalih pojačala u smislu kvaliteta zvuka. Dizajnirano je da bude kompatibilno sa širokim spektrom audio formata, što ga čini boljim od drugih pojačala u smislu fleksibilnosti. TAS2764 je generalno gledajući veoma isplativ za svoju cenu tako da bi ga još više unapredili samim njegovim povezivanjem na internet. Kontrolu pojačala bismo vršili zadavanjem komandi preko određenog uređaja: kompjutera, laptopa, mobilnog telefona i time bismo olakšali upravljanje s njim.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija kroz projekat broj 451-03-47/2023-01/200156

"Inovativna naučna i umetnička istraživanja iz domena delatnosti FTN-a".

LITERATURA

- [1] Filipović D. Miomir, Praktična elektronika 4, 2017;
- [2] <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tas2764.pdf>
- [3] Vidosav D. Majstorović, Dragan Đurić, Radivoje Mitrović, "Industrija 4.0, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet", 2022;
- [4] Dr Peter Dalmaris, KiCad like a Pro, Tech Explorations, 2019;
- [5] <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tca9548a.pdf>
- [6] Marjan Urekar, Nemanja Gazivoda, Đorđe Novaković, Stefan Mirković, Marina Subotin, Dragan Pejić, Jelena Đorđević Kozarov, "Značaj obrazovanja iz oblasti metrologije i merno-informacionih Sistema u savremenom konceptu Industrije 4.0", 2020;

ABSTRACT

In this paper, a smart integrated audio amplifier TAS2764 is presented, which will be controlled via the website with the help of the STM32F407VG microcontroller. Using the data that will be forwarded via the Wi-Fi module, we will be able to control the amplifier by giving commands on the website. The TAS2764 smart audio amplifier is designed to provide high voltage output, high efficiency and low power consumption for a variety of applications, making it better than other amplifiers in terms of energy efficiency. The electronic schematic was designed in KiCad while the code was written in the STM32CubeIDE environment.

Smart amplifier based on TAS2764 in the measurement and information system for Industry 4.0

Boris Jeličić, Marjan Urekar