

Automatsko snimanje amplitudno-frekventnih karakteristika primenom Arduino okruženja

Goran Dikić i Slobodan Drašković

Apstrakt—U radu je prikazan uređaj za automatsko snimanje amplitudno-frekventnih karakteristika elektronskih modula kao i sistema u celini. Uređaj je napravljen primenom gotovih modula za generisanje signala i merenje njihovog nivoa u radiofrekvencijskom opsegu. Proces snimanja, obrade signala kao i prikaz rezultata je automatizovan primenom Arduino NANO okruženja.

Ključne reči—automatsko merenje; amplitudno-frekventne karakteristike; mikrokontroler.

I. UVOD

U postojećoj literaturi predložena su rešenja koja omogućavaju automatsko merenje amplitudno-frekventnih karakteristika metodom koja se zasniva na primeni modernog generatora funkcija i digitalnog osciloskopa [1] ili primenom LabVIEW integrisanog razvojnog okruženja uz obradu podataka na računaru [2].

U ovom radu je prikazan uređaj za automatsko snimanje amplitudno-frekventnih karakteristika elektronskih modula ili sistema u celini koji je nastao kao rezultat potrebe da se studentima osnovnih strukovnih studija elektrotehnike i računarstva prikaže mogućnost realizacije automatizovanih mernih sistema primenom mikrokontrolera. Imajući u vidu potrebe edukativnog procesa zahtevi u pogledu programske podrške i složenosti hardvera su optimizirani tako da se kompletna analiza kao i konačna demonstracija njegovog rada mogu realizovati tokom redovnog nastavnog procesa.

Polazeći od namene jasno je da, pored mikrokontrolera, uređaj mora da sadrži generator pobudnog signala, modul za merenje nivoa signala na izlazu ispitivanog modula ili sistema kao i da ima mogućnost prikaza amplitudno-frekventne karakteristike.

Pri odabiru hardvera pošlo se od činjenice da na tržištu postoji mnoštvo elektronskih modula koji su razvijeni za rad uz podršku mikrokontrolera. S obzirom da je pretpostavljen razvoj uređaja za snimanje amplitudno-frekventnih karakteristika u radiofrekvencijskom opsegu za merenje je odabran elektronski modul koji je realizovan primenom logaritamskog pojačavača AD8307 [3]. Jedan primer njegove primene u praksi opisan je u [4].

Goran Dikić – Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd, Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva, Vojvode Stepe 283, 11000 Beograd, Srbija, (e-mail: goran.dikic@viser.edu.rs).

Slobodan Drašković – Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd, Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva, Vojvode Stepe 283, 11000 Beograd, Srbija, (e-mail: slobodan.draskovic@gs.viser.edu.rs).

Za generisanje pobudnog signala odabran je modul zasnovan na primeni integrisanog kola Si5351 [5]. Primer programabilnog oscilatora na bazi ovog integrisanog kola opisan je u [6].

Imajući u vidu dostupnost i karakteristike programske podrške, posebno u pogledu mogućnosti prikaza grafičkih rezultata, za realizaciju upravljanja i obradu rezultata merenja odabrano je Arduino NANO razvojno okruženje [7].

II. OPIS UREĐAJA

Logaritamski pojačavač AD8307 omogućava konverziju nivoa merenog naizmjeničnog signala u odgovarajući nivo jednosmernog napona tako da se konačni rezultat može izraziti u decibelima. U konkretnom slučaju nagib merne karakteristike odgovara nivou 25 mV/dB. Pri tome je obezbeđena linearnost u opsegu ± 1 dB. Dinamički opseg pojačavača je od -75 dBm do 17 dBm. Radni napon pojačavača je u opsegu od 2.7 V do 5.5 V. Izgled modula sa ugrađenim integrisanim kolom AD8307 i pripadajućim elektronskim komponentama dat je na slici 1.

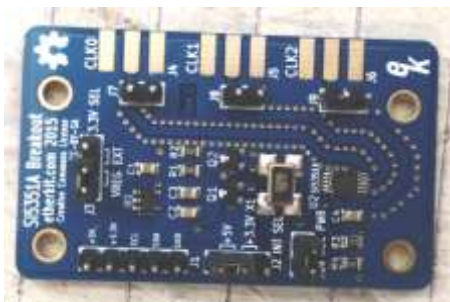


Sl. 1. Modul sa logaritamskim pojačavačem AD8307.

Modul za generisanje naizmjeničnog pobudnog signala zasnovan na primeni integrisanog kola Si5351 može istovremeno da generiše tri signala na svojim izlazima CLK0, CLK1 i CLK2, ali se u konkretnom slučaju koristi samo CLK0. Generisani signal može imati frekvenciju u opsegu od 8 kHz do 160 MHz. Odabir radne frekvencije se vrši na osnovu kontrolnih signala koje šalje mikrokontroler. Pri tome se koristi I2C (Inter-Integrated Circuit) protokol. Integrisano kolo zahteva napajanje od 3.3 V. Modul je projektovan tako da se po potrebi može koristiti ovaj ili napon od 5 V. Izgled modula je prikazan na slici 2.

Rad celokupnog uređaja kontroliše mikrokontroler ATmega328P koji čini osnovu razvojnog sistema poznatog pod nazivom Arduino NANO [7]. Programska podrška koja je

razvijena za rad sa ovim razvojnim sistemom pored razvoja i upisa programa u memoriju mikrokontrolera omogućava i upotrebu ekrana računara za grafički prikaz rezultata obrade tokom izvršenja konkretnog programa. Ova mogućnost je pojednostavila dizajn uređaja jer nije potrebno razvijati dodatnu programsku podršku da bi se omogućio prikaz amplitudno-frekventne karakteristike za ispitivani modul.



Sl. 2. Razvojni modul sa integrisanim kolom Si5351.

Uređaj funkcioniše tako što se u odgovarajućem programu, pre upisa u mikrokontroler, definišu početna i krajnja frekvencija na kojoj se realizuje snimanje. Veličina koraka, pri promeni frekvencije, određuje se automatski, tokom izvršenja programa, uvažavajući činjenicu da je grafička podrška dizajnirana za jednovremeni prikaz 500 tačaka na ekranu računara. Šematske veze između pojedinih modula su prikazane na slici 3.

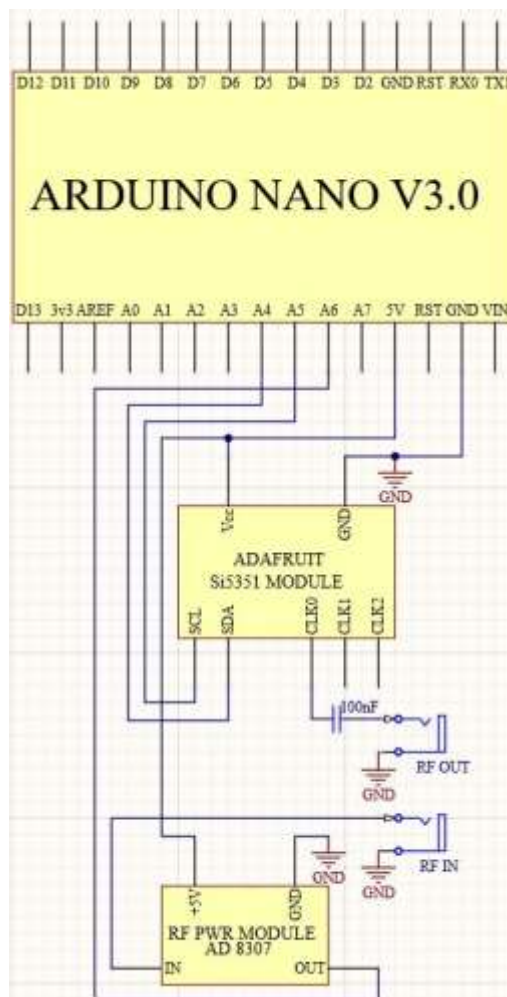
Prenos kontrolnih signala SDA (*Serial Data and Address*) i SCL (*Serial Clock line*) ka modulu sa integrisanim kolom Si5351 ostvaruje se preko izlaza A4 i A5 Arduino NANO sistema. Na izlazu CLK0 generiše se povorka unipolarnih pravougaonih impulsa sa odnosom signal pauza u razmeri 1:1. Signal se dalje vodi preko kondenzatora od 100 nF tako da je na izlazu RF OUT potisnuta jednosmerna komponenta. Ulaz ispitivanog modula se spaja na RF OUT, a izlaz na RF IN koji zapravo predstavlja ulaz u modul sa logaritamskim pojačavačem AD8307. Izlaz ovog modula spojen je na priključak A6 Arduino NANO sistema koji predstavlja ulaz u desetobitni analogno-digitalni konvertor.

Rad uređaja, nakon upisa programa, započinje procesom definisanja neophodnih promenljivih i inicijalizacijom zahtevanih vrednosti za rad navedenih modula u skladu sa zahtevima opisanim u [3] i [5]. Realizacija i obrada svih merenja odvija se unutar programske petlje tako što se, u svakom koraku, najpre uspostavi zahtevana frekvencija signala na izlazu CLK0, a zatim sledi osam uzastopnih merenja nivoa signala na izlazu ispitivanog modula. Izmereni nivoi se obrađuju tako što se najpre sabere njihovi binarni ekvivalenti u vidu celobrojnih vrednosti. Nakon toga, dobijena vrednost se pomera unutar odgovarajućeg registra za tri mesta u desno, što odgovara deljenju sa 8. Ovim jednostavnim postupkom smanjuje se nivo šuma merenja. Dobijena vrednost se deli sa 1023 (desetobitni AD konvertor) i množi sa vrednošću referentnog napona. U ovom slučaju to je radni napon koji se dobija preko Mini-B USB (*Universal*

Serial Bus) priključka Arduino NANO sistema, odnosno sa USB priključka računara. Konačna vrednost, V_{out} , koristi se za izračunavanje nivoa signala na izlazu ispitivanog modula, $PowerdB$, u decibelima:

$$PowerdB = Slope \cdot V_{out} - Intercept. \quad (1)$$

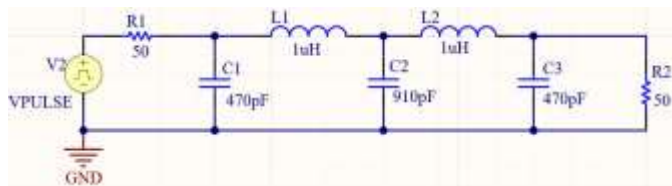
Pri tome $Slope$ predstavlja nagib merne karakteristike, a $Intercept$ vrednost presečne tačke na logaritamskoj osi [1].



Sl. 3. Električna šema sistema za snimanje amplitudno-frekventnih karakteritika.

Rad uređaja je testiran merenjem amplitudno-frekventne karakteristike dva elektronska modula. U prvom slučaju odabran je niskopropusni LC filter čija šema je prikazana na slici 4. Gornja granična frekvencija ovog filtra je 7.2 MHz, a ulazna i izlazna impedansa su 50 Ω.

U drugom slučaju izmerena je amplitudno-frekventna karakteristika kristalnog filtra 14 E 2.48 koji je proizveden u Institutu "Mihajlo Pupin", u Beogradu. Njegova centralna frekvencija je 9.0 MHz, a širina propusnog opsega, na nivou slabljenja -6 dB, iznosi ±1.2 kHz. Talasnost u propusnom opsegu je 2 dB, a slabljenje pogonskog signala nije veće od 4 dB.

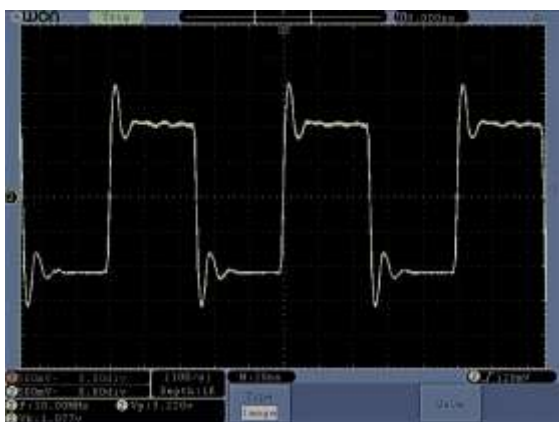


Sl. 4. Šematski prikaz niskopropusnog filtra sa graničnom frekvencijom 7,2 MHz.

Za merenje karakteristike kristalnog filtra od posebnog značaja je poznavanje njegove završne impedanse koja iznosi 390Ω u paraleli sa kapacitivnošću od 25 pF. Važnost ovog podatka proističe iz potrebe da se obezbedi adekvatno prilagođenje impedanse kako na ulazu tako i na njegovom izlazu. U slučaju lošeg prilagođenja dobijaju se amplitudno-frekventne karakteristike koje zapravo ne odgovaraju stvarnim karakteristikama filtra (na primer velika talasnost u propusnom opsegu).

III. REZULTATI EKSPERIMENTATA

Prikupljanje eksperimentalnih rezultata započeto je analizom signala koji se dobija na izlazu CLK0 modula sa generatorom signala. Merenje je obavljeno na frekvenciji 10 MHz. Iz snimka koji se vidi na slici 5 uočava se postojanje preskoka kao i jednakost u pogledu trajanja poluperioda (odnos 1:1).



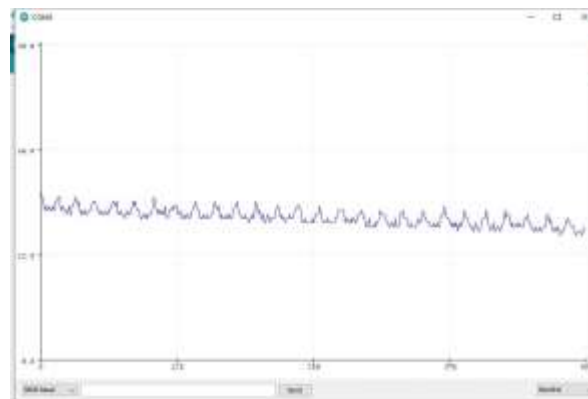
Sl. 5. Oblik signala na izlazu CLK0 (Si5351) pri frekvenciji 10 MHz.

Pravougli oblik signala nije poželjan pri merenju amplitudno-frekventnih karakteristika zbog činjenice da sadrži brojne harmonike, naročito kada se ima u vidu postojanje uskog i naglašenog preskoka. Sve ovo dovodi do toga da se istovremeno ostvaruje pobuda ispitivanog modula na više frekvencija pa to može uticati na kvalitet dobijenih rezultata. U svakom slučaju ovo treba imati u vidu.

U cilju sticanja uvida u nivo generisanog signala snimljena je karakteristika u opsegu 1-21 MHz, a dobijeni rezultati su prikazani na slici 6.

Snimanje je ostvareno direktnim povezivanjem izlaza RF

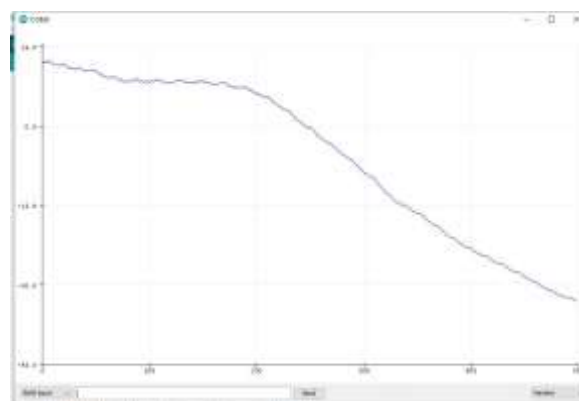
OUT i ulaza RF IN. Uočeno je da nivo pobudnog signala neznatno opada sa porastom frekvencije i pokazuje izvesnu periodičnost u pogledu promena svog nivoa (pojava lokalnih ekstrema u pravilnim razmacima). Numeričke vrednosti na vertikalnoj osi dobijenog dijagrama predstavljaju nivo merenog signala u dBm. Pri tome numeričke vrednosti na horizontalnoj osi označavaju redni broj odbirka, a ne frekvenciju na kojoj je izvršeno testiranje. Ovo nije moguće menjati jer originalna programska podrška ne nudi mogućnost izbora vrednosti koje se koriste za označavanje na horizontalnoj osi. U slučaju "priliva" većeg broja podataka ceo dijagram se lagano pomera u levo tako da se na ekranu uvek može videti poslednjih 500 tačaka.



Sl. 6. Signal na izlazu Si5351 u opsegu od 1 MHz do 21 MHz.

A. Izmerena karakteristika niskopropusnog filtra

Očekuje se da karakteristika ispitivanog niskopropusnog LC filtra ima ravan ili blago talasasti oblik u propusnom opsegu. Dobijeni rezultati su prikazani na slici 7.



Sl. 7. Amplitudno-frekventna karakteristika niskopropusnog filtra u opsegu od 1 MHz do 21 MHz.

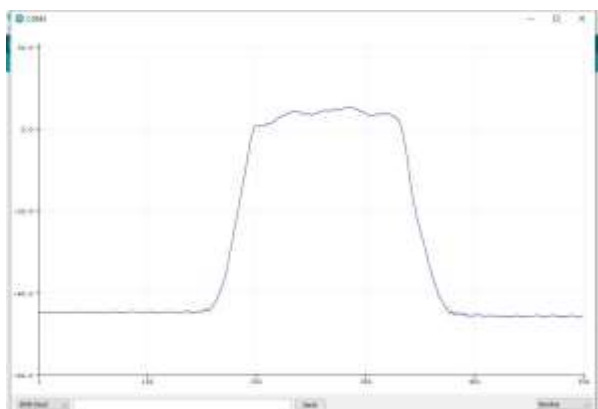
Već je naglašeno da pobudni signal, zbog svog pravouglog oblika, sadrži mnoštvo harmonika. Svaki od njih, prolaskom kroz niskopropusni filter učestvuje u formiranju nivoa izlaznog signala koji se meri. Porastom frekvencije pobudnog signala harmonici postaju sve udaljeniji u odnosu na njegovu osnovnu frekvenciju, odnosno sve dublje ulaze u područje gde

niskopropusni filter ostvaruje njihovo značajno slabljenje. Ovo je razlog za pojavu slabljenja (opadajući trend amplitudno-frekventne karakteristike) u početnom delu frekvencijskog opsega, bez obzira na ujednačenost nivoa pobudnog signala na ovim frekvencijama.

Nakon dovoljno visoke frekvencije pobudnog signala doprinos viših harmonika, zbog slabljenja koje unosi niskopropusni filter, postaje zanemariv u odnosu na nivo osnovnog harmonika. Tada, karakteristika postaje približno ravna sve do prelomne frekvencije kada se, u skladu sa očekivanjem, uočava naglo slabljenje.

B. Izmerena karakteristika kristalnog filtra

S obzirom da su izlazna impedansa generatora i ulazna impedansa modula sa logaritamskim pojačavačem 50Ω filter je spojen preko odgovarajućih transformatora sa odnosima namotaja primar sekundar u razmeri 1:8 na ulazu i 8:1 na svom izlazu. Snimanje karakteristike za kristalni filter ostvareno je promenom frekvencije pobudnog signala u opsegu od ± 5 kHz u odnosu na centralnu frekvenciju filtra (9.0 MHz). Oblik karakteristike je prikazan na slici 8.



Sl. 8. Amplitudno-frekventna karakteristika kristalnog filtra 14 E 2.48 (centralna frekvencija 9.0 MHz).

Imajući u vidu oblik karakteristike (nagli pad izvan propusnog opsega) kao i činjenicu da je snimanje vršeno unutar frekvencijskog opsega širine 10 kHz može se proceniti da širina frekvencijskog opsega takođe odgovara kataloškim podacima (± 1.2 kHz u odnosu na centralnu frekvenciju). Slabljenje izvan propusnog opsega je zapravo veće u odnosu na izmereno, ali se ne može registrovati zbog ograničene dinamike samog pojačavača

IV. ZAKLJUČAK

Testiranjem su potvrđena očekivanja u pogledu problema koji mogu nastati zbog nesinusoidnog oblika pobudnog signala. Međutim, ukoliko se ima u vidu edukativna namena uređaja, predloženo rešenje nudi puno mogućnosti za povezivanje saznanja stečenih kroz izučavanje raznih predmeta i predstavlja dobru osnovu za dalji razvoj.

Za bolje rezultate trebalo bi najpre uvesti spoljni izvor

referentnog napona od 2.5 V (priključak AREF na Arduino NANO modulu). Time bi se postigla bolja rezolucija, a samim tim i preciznija merenja. Bolji prikaz i očitavanje vrednosti na ekranu računara mogu se dobiti primenom MATLAB programskog okruženja (mogućnost definisanja logaritamske skale na horizontalnoj osi i ispis vrednosti koje bi označavale frekvenciju, a ne redni broj podatka). Pored toga, MATLAB omogućava dvosmernu komunikaciju tako da se zadavanje početne i krajnje frekvencije može definisati bez potrebe da se unose promene u programu koji je upisan u mikrokontroler. Naravno ovo izlazi iz okvira optimizacije koja je usvojena na početku razvoja uređaja, a odnosi se na maksimalno iskorišćenje originalnog ARDUINO programskog okruženja.

Konačno, moguće je ostvariti promene u pogledu proširenja hardvera dodavanjem LCD ekrana i obrtnog enkodera sa tasterom. Na taj način bi se pored zadavanja početne i krajnje frekvencije, uz uvođenje odgovarajućih poruka na LCD ekranu mogle uvesti i dodatne mogućnosti kao, na primer, zahtev da se ponovi snimanje ili da se uspostavi režim rada koji omogućava kalibraciju kompletnog uređaja prilikom prvog puštanja u rad.

LITERATURA

- [1] L. Satish, Santosh C. Vora, "Amplitude Frequency Response Measurement: A Simple Technique", *IEEE Transactions on Education*, vol. 53, no. 3, pp. 365-371, Aug. 2010.
- [2] Tian Tian, Wu Jian, Nie Li, "Applied Mechanics and Materials", *AMM*, vol. 475-476, pp.16-22, 2010.
- [3] Low Cost, DC to 500 MHz, 92 dB Logarithmic Amplifier, <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad8307.pdf>, pristupljeno 17. 01. 2022.
- [4] J.C. Cowles, "The Evolution of Integrated RF Power Measurement and Control", Proc. IEEE MELECON 2004, Dubrovnik, Croatia, pp. 131-134, May 12-15, 2004.
- [5] Etherkit Si535, <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/etherkit-si535/>, pristupljeno 27. 01. 2022.
- [6] Janko Koležnik, Boštjan Vlaovič, "Programabilni kristalni oscilator visoke razločljivosti", *Elektrotehniški Vestnik*, vol. 84, no. 3, pp. 93-98, 2010.
- [7] Arduino Nano, <https://docs.arduino.cc/hardware/nano>, pristupljeno 15. 12. 2022.

ABSTRACT

In this paper the device for automatic recording of amplitude-frequency characteristics of electronic modules as well as whole system is presented. The device is designed applying readymade modules for signals generating and level measurement of them in radiofrequency band. Recording process, signal processing as well as presentation of results is automatized using Arduino NANO environment.

Automatic recording of amplitude-frequency characteristics using Arduino environment

Goran Dikić and Slobodan Drašković