

ХАРДВЕРСКИ ДИЗАЈН СПЕЦИЈАЛНИХ ДЕЛОВА СТОМАТОЛОШКЕ СТОЛИЦЕ**HARDWARE DESIGN OF SPECIAL PARTS OF A DENTAL SEAT:**

Татјана Шестић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО

Кратак садржај – У овом раду представљен је развој хардвера два функционална блока зубарске столице, централне управљачке јединице и централног напајања столице. Рађ прати комплетан развојни пут медицинског уређаја, од избора компоненти, прорачуна енергетске ефикасности, пројектовања електронских кола, до дизајна штампаних плочица. Пројектовање шема и штампаних плочица рађено је у Cadence-овом програмском пакету OrCad.

Кључне речи: Хардвер, медицина, зубарска столица, управљање, напајање, PCB

Abstract – This paper presents the hardware development of two interconnected blocks within a dental chair, central control unit and main power supply unit. The paper follows complete development path of a medical device, from appropriate components selection, thermal calculation, electronic circuits design to the PCB design. Schematic and layout design is done in Cadence OrCad software package.

Keywords: Hardware, medicine, dental chair, control, power supply, PCB

1. УВОД

Стоматолошке столице нису одувјек биле елегантне и софистициране као што су то данас. Чак нису ни постојале све до почетка 18. вијека. Ипак трагови постојања стоматологије воде и до старог Египта гдје су комади злата и слоноваче коришћени за замјену зуба који недостају.

Први значајан искорак у развоју столица десио се 1940. године, када је Ritter Dental, један од првих произвођача зубарских столица, дизајнирао столицу која се подизала и спуштала помоћу хидраулике, а први пут су уведени и плувачница и рендгенски уређај, Слика 1. Увођењем и подесивог наслона за леђа, настаје прва модерна зубарска столица, те почиње серијска производња.

Током посљедњих 300 година зубарска столица је значајно еволуирала од статичне дрвене, до „паметне“ столице која је потпуно подесива, стоји на постољу, и посједује моторе који обезбјеђују снагу за различите механизме зубарске столице.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Владимир Рајс, ванр. проф.

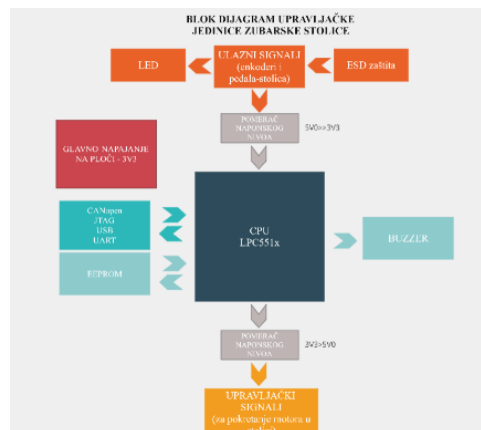


Слика 1. Ritter Dental зубарска столица (1940) [1]

Овај рад састоји се од пет дијелова. Након уводног дијела о самом медицинском уређају, у другом дијелу анализирају се захтјеви хардверских јединица зубарске столице. У трећем дијелу описан је развој хардвера централне управљачке јединице, а у четвртном развој главног напајања зубарске столице. Развој хардвера ова два блока обухвата пројектовање електронских шема, избор компоненти, одговарајуће прорачуне, и на крају дизајн штампаних електронских плочица. У петом дијелу изнесен је закључак.

2. ЦЕНТРАЛНА УПРАВЉАЧКА ЈЕДИНИЦА ЗУБАРСКЕ СТОЛИЦЕ

Ова хардверска јединица омогућава управљање моторима задуженим за помјерање сједишта и наслона зубарске столице помоћу сигнала пристиглих са других плоча. Блок шема ове плоче дата је на Слици 2. У наредним поглављима детаљније ће бити описана архитектура система и функционалност појединачних модула.



Слика 2. Блок шема плоче централне управљачке јединице зубарске столице

2.1. Микроконтролер LPC551x (CPU)

При избору микроконтролера за контролу зубарске столице, главни критеријум мора бити посједовање периферија за рад са протоколима вишег реда базираним на CAN интерфејсу, у овом случају са CANopen протоколом. С циљем развијања CANopen апликације одабран је NXP микроконтролер LPC5512JBD100E у паковању 100-LQFP.

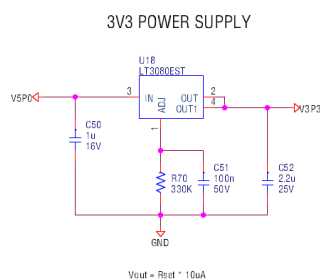
2.2. ESD заштита

Код електронских система намијењених за рад у тешким индустријским условима, као и у случајевима кад сигнали долазе са других плоча, а њихова природа је можда непозната и може оштетити електронске компоненте на штампаној плочи, обавезно треба водити рачуна о заштити системских улаза од транзијентних скокова напона. Сви системи намијењени општој употреби, међу којима су и медицински уређаји, свакако треба да прођу ESD (Electrostatic discharge) тест имунитета регулисан стандардом IEC 61000-4-5.

За заштиту од пренапона најчешће се користи TVS диода, а у овом раду коришћена је SRV05-4.TCT која обједињује 8 управљачких диода ниске капацитивности и једну унидирекциону TVS диоду у истом паковању.

2.3. Напајање 3.3 V – избор регулатора

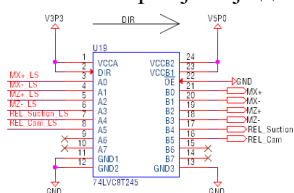
Специфична карактеристика већине NXP микроконтролера са CAN бусом јесте напон напајања од 3.3 V, тако да се од 5 V са плоче главног напајања мотора зубарске столице мора генерисати 3.3 V неопходних за рад, како микроконтролера, тако и осталих електронских кола на плочи централне управљачке јединице. Све компоненте које раде у спреси са микроконтролером морају, такође, да раде на напону од 3.3 V. На основу прорачуна дисипације потврђено је да LDO LT3080 у кућишту SOT-223-3 задовољава услове будуће примјене, Слика 3.



Слика 3. Електрична шема примјене LDO регулатора

2.4. Прилагођавање логичких нивоа улаза и излаза

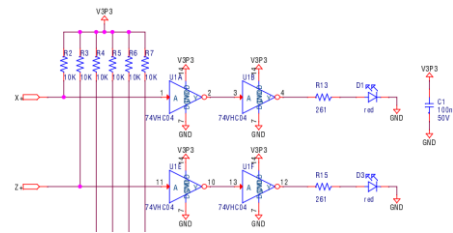
Ова плоча размјењује информације са другим плочама у систему, при чему неке од њих раде на стандардних 5 V. Како не би дошло до уништења уређаја на плочи, потребно је прилагодити напонске нивое помоћу левел шифтера. Коришћен је би-дирекциони левел шифтер SN74LVC8T245. Примјена је дата на слици 4.



Слика 4. Електрична шема примјене левел шифтера

2.5. Управљање LED диодама

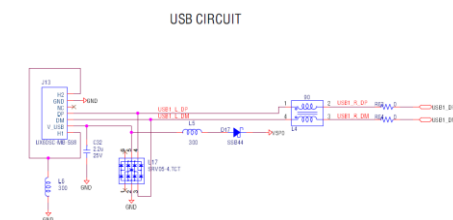
LED диоде се могу управљати и директно са CMOS/TTL логичких излаза микроконтролера, Ардуина или Raspberry Pi-а, преко редног отпорника. Међутим, у комерцијалним апликацијама за управљање LED диодама најчешће се користе посебна интегрисана кола са сопственим напајањем, која дају константну струју на излазу, а могу да дају веће струје него GPIO пинови микроконтролера. На тај начин чувају се излазни портлови контролера од превелике струје коју диоде могу повући. На овој плочи коришћен је инвертер 74VHC04M, који у паковању 14-SOIC има 6 инвертера, може да се напаја са 3.3 Vdc присутних на плочи, а на излазу може дати струју до 25 mA. Начин примјене дат на Слици 5.



Слика 5. Електрична шема управљања LED диодама

2.6. USB интерфејс

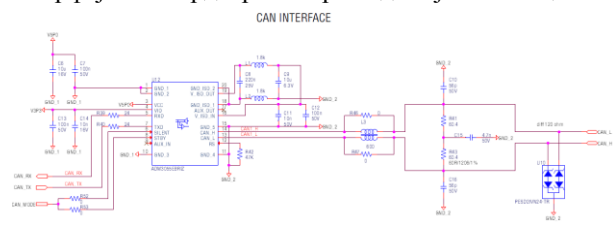
Изабрани микроконтролер пружа могућност програмирања преко сљедећих комуникационих интерфејса: USB0/1, UART, SPI и I²C. Најпрактичније рјешење свакако омогућава USB интерфејс, прије свега због брзине и једноставног повезивања са рачунаром. У овом раду коришћен је USB 2.0 протокол, и то мини-Б конектор UX60SC-MB-5S8 са 5 пинова. При рутирању брзих диференцијалних сигнала потребно је водити рачуна о „common-mode” шуму и карактеристичној импеданси, која за USB износи 90 Ω. Начин примјене USB-а дат је на слици 6.



Слика 6. Електрична шема кола за USB 2.0

2.7. CANopen интерфејс

CANopen је протокол вишег нивоа заснован на CANbus стандарду. Из потребе за већом брзином комуникације, већим бројем уређаја на мрежи и већим бројем порука, првенствено у области машина које управљају кретањем, 1995. настао је апликациони слој новог протокола – CANopen. Реализација CANopen интерфејса са хардверске стране дата је на Слици 7.



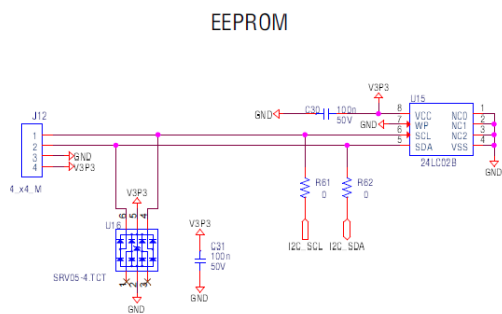
Слика 7. Електрична шема примјене CANopen-а

У раду су детаљно описани комуникациони модели, формат поруке, рјечник објеката, сервиси за пренос порука, као и хардверска реализација. Сваки уређај на мрежи, а може их бити 127, мора посједовати CAN контролер, трансивер и одговарајући конектор. Како би се одржала карактерична импеданса диференцијалних сигнала линије бус-а на крајевима морају бити терминирани отпорницима од 120Ω , а препоручује се употреба два отпорника од 60.4Ω у серији и декаплинг кондензатор између њих.

У овом пројекту одабран је трансивер ADM3055EBRIZ који пружа потпуну изолацију CAN контролера од физичког слоја бус-а.

2.8. EEPROM – примјена на плочи

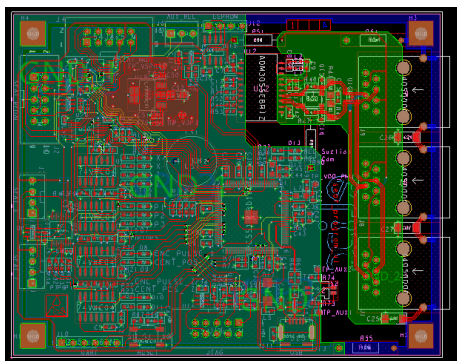
EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) представља избрисиву програмабилну меморију само за читање, а омогућава чување минималне количине података у електронским уређајима и системима као што су штампане плочице. Најчешће се користи за чување калибрационих информација неопходних при сваком укључивању система, јер се подаци не губе кад се спољно напајање изгуби. У овом раду коришћен је серијски EEPROM 24LC02B на бази I²C интерфејса, Слика 8.



Слика 8. Електрична шема примјене EEPROM-а

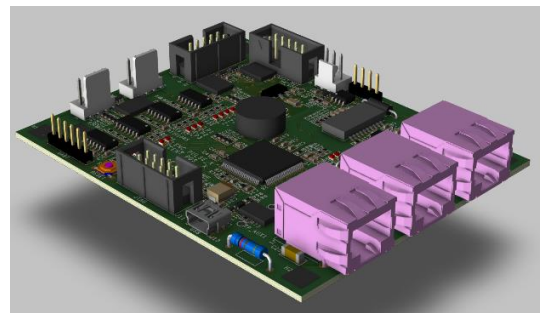
2.9. Физички изглед штампане плоче

Штампана плоча централне управљачке јединице зубарске столице рађена је у 4-слојној штампи како би се брзом USB интерфејсу обезбиједио непрекидан референтни плејн. Посједује 4 монтажне рупе преко којих је везује за метално кућиште зубарске столице и на тај начин уземљава. Слика 9 приказује галванску изолацију CAN трансивера, плејн за одвођење вишка топлоте са регулатора, као и начин рутирања диференцијалних сигнала.



Слика 9. Приказ 4-слојног layout-а

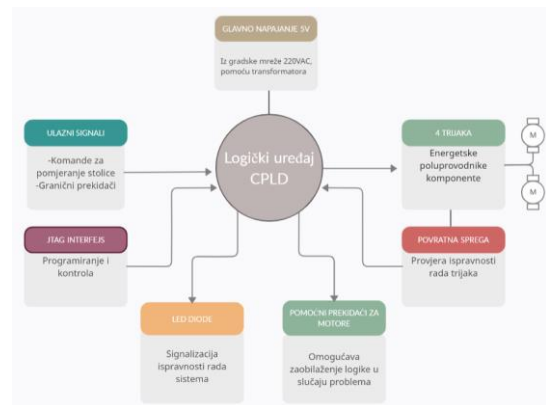
Слика 10 даје тродимензионални приказ штампане плочице централне управљачке јединице.



Слика 10. 3D приказ штампане плоче

3. ГЛАВНО НАПАЈАЊЕ ЗУБАРСКЕ СТОЛИЦЕ

Улога друге плоче из овог рада обухвата контролу линеарних мотора за помјерање столице по x и z осама, уз помоћ команди пристиглих са удаљених дијелова столице, а које прикупља претходно обрађивана централна управљачка плоча зубарске столице. Као прекидачки елемент одабран је тријак, а због прекидања великих струја, потребно је обезбиједити и галванско одвајање високонапонског дијела кола, од нисконапонског остатка кола, као и константну провјеру исправности рада тријака, јер би њихов евентуални пробој могао довести пацијета у столицу у небезбједан положај. Блок шема система дата је на Сlici 11.

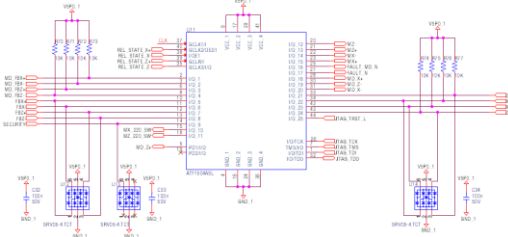


Слика 11. Блок шема плоче главног напајања столице

3.1. Програмабилни логички уређај - CPLD

Хадверски конфигурисани уређаји, као што су програмабилни логички уређаји постају све популарнији због могућих бенефита у смислу замјене логичких функција, могућности брзе израде прототипа, брзине дизајна и процесуирања дигиталних сигнала, при чему PLD може имплементирати исте функционалности као и системи базирани на процесору, само за краће вријеме [2].

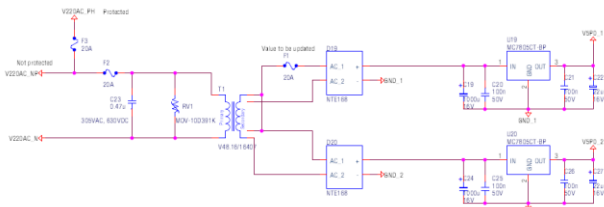
У овом пројекту коришћен је CPLD високих перформанси ATF1504ASL произвођача Microchip, који за свој рад захтијева и екстерни тајмер (нпр. NE555), а програмира се помоћу JTAG-а.



Слика 12. Електрична шема примјене CPLD-а

3.2. Главно напајање на плочи 5V

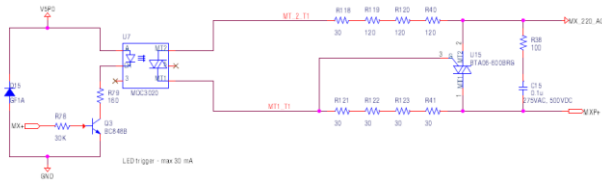
За рад свих јединица система зубарске столице потребно је обезбиједити стабилних 5 V. С обзиром да је из градске мреже доступно 220 V - 50 Hz, да би се добило регулисаних 5 V једносмјерног напона потребно је у коло укључити одговарајућу заштиту, трансформатор, мостни исправљач, одређени филтар, и на крају регулатор напона, који ће на свом излазу давати регулисаних 5 V. У овом раду кориштен је трафо са два секундара, док је за регулатор одабрано коло MC7805CT које на свом излазу може дати струју од 1.5 A. Начин примјене приказан је на Слици 13.



Слика 13. Коло за добијање 5 V из градске мреже

3.3. Управљање моторима унутар зубарске столице

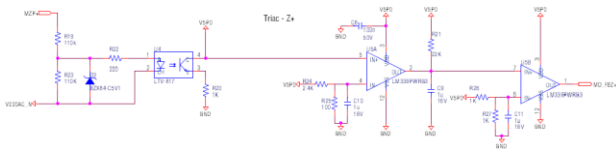
У овом раду за помјерање столице коришћени су линеарни актуатори са асинхроним монофазним „brushless” погонским системом, а раде директно на АС напону из мреже. За стартовање и прекидање рада ових мотора коришћени су тријаци, а за потребе овог пројекта одабран је стандардни тријак ВТА06-600BRG, док је виши степен галванске изолације омогућен опто-тријаком МОС3020, Слика 14.



Слика 14. Коло за управљање АС мотором

3.4. Повратна спрега са тријака

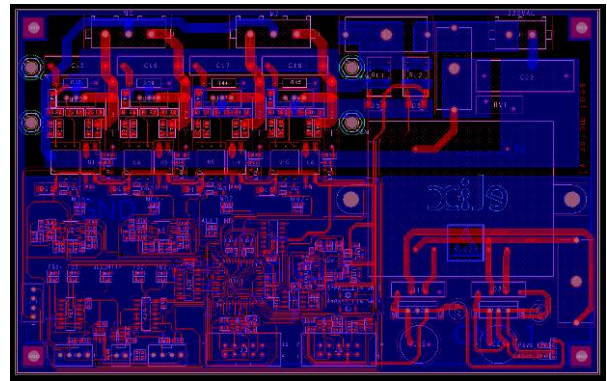
С обзиром да безбједност пацијента у зубарској столици, зависи и од исправног рада мотора за помјерање столице, потребно је константно провјеравати исправност тријака, при чему се упоређују стање на излазу тријака са стањем управљачког сигнала пристиглог логичком уређају – CPLD-у (Слика 15). У случају пробоја тријака, мотори се не би могли зауставити, а тако би се пацијент могао наћи у положају који би могао довести до повреде.



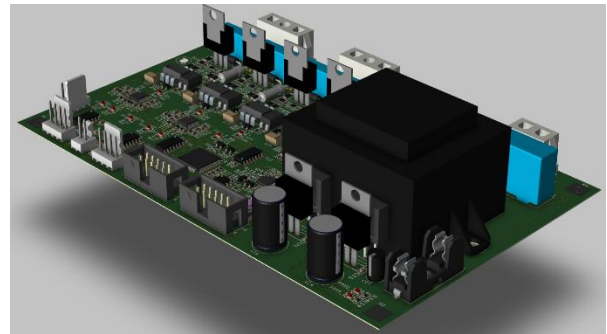
Слика 15. Коло повратне спреге са тријака

3.5. Физички изглед штампане плоче

Ова плоча не посједује брзе интерфејсе, као што је USB, а сходно својој величини и броју компоненти може остати у двослојној форми, с тим што струјне карактеристике захтијевају посебну пажњу у погледу самог рутирања. Изглед layout-a дат је на Слици 16, а тродимензионални приказ на слици 17.



Слика 16. Приказ 2-слојног layout-a



Слика 17. 3D приказ штампане плоче

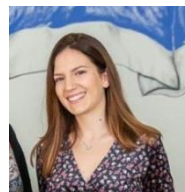
4. ЗАКЉУЧАК

Развој медицинских уређаја представља својеврстан изазов за инжењере електронике, јер од самог осмишљавања архитектуре уређаја, преко избора компоненти и њиховог повезивања у систем, мора се водити рачуна о високо ризичној намјени самог уређаја. Електронски модули пројектовани у овом раду не могу да раде без преосталих блокова у систему зубарске столице, тако да након производње и тестирања функционалности одређених блокова, систем треба повезати у једну цјелину, а затим програмирати микроконтролер и CPLD како би систем радио према стоматолошким захтјевима. Након теста функционалности, овакав уређај мора да прође кроз медицинске стандардизације, у случају зубарске столице то је класа II-a (низак-до средње висок степен ризика), како би добио CE ознаку.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Интернет сајт: <https://www.stanleymiles.com/a-brief-history-of-the-dental-chair-from-wooden-to-smart/>; новембар 2021.
- [2] Grout, I. (2008) *Digital Systems Design with FPGAs and CPLDs*; ISBN-13: 978-0-7506-8397-5, Elsevier Ltd.

Кратка биографија:



Татјана Шестић рођена је у Прњавору (Република Српска). Факултет техничких наука у Новом Саду, смјер Мехатроника уписује 2015. године, а након дипломирања 2019. године уписује мастер студије из области Електротехника и рачунарство - Примјењена електроника.