

Nodaļa 2

Kastīte un citi labumi

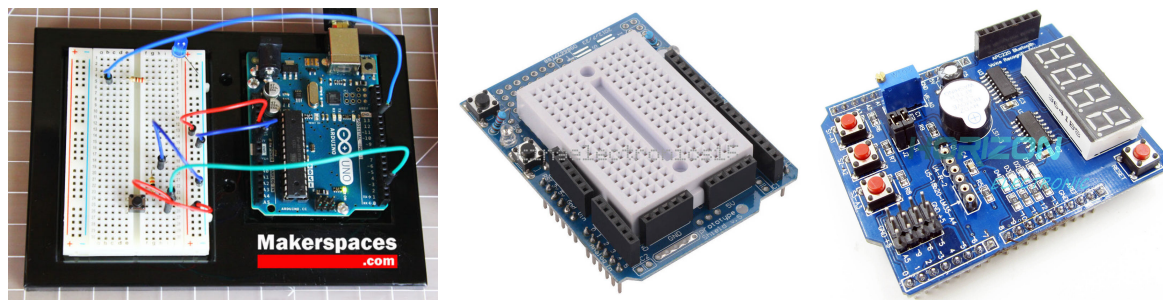
2.1 Kursa vēsture

Savu pasniedzēja karjeru Latvijas Universitātē uzsāku 1999. gada rudenī kā tas parasti ierasts ar fizikas praktikumu. Bez tam pārņēmu arī datorapmācību. Bija savdabīgi tikai un vienīgi UNIX/Linux lietotājam ar 5 gadu stāžu mācīt MS Office, piemēram man pašam nācās apgūt MS Excel. Studentu priekšzināšanas, kā var saprast, bija ļoti ļoti dažādas, jo ne visās skolās bija normālas datorklases. Atceros puisi, kurš pirmajā nodarbībā datorā ievadīja vien divas rindiņas teksta, katru burtu meklējot uz klaviatūras. Viņš nāca uz visām iespējamām papildus nodarbībām un līdz Ziemassvētkiem panāca savus kursabiedrus. Formulu ievads un stilu lietošana bija jā māca pilnīgi visiem. Otrā kursā studenti apguva programmēšanu, tajā laikā vēl PASCAL vēlāk pārgājām uz C/C++.

Pēc diviem gadiem šo kursu pārņēma nākošais jaunais pasniedzējs. Savukārt 2010. gadā nodaļa nonāca pie slēdziena, ka jauno studentu ofisa programmu prasmes ir pietiekoši labi apgūtas jau skolās, un trūkstošās specifiskās prasmes viņi apgūs paši noformējot laboratorijas darbus. Iekšējā diskusijā toreiz ieteicu mācīt programmēšanu izmantojot Arduino. Piedāvāju pusnopietni, ar mērķi paplašināt diskusijas amplitūdu. Labi sapratu, ka C/C++ kā pirmā programmēšanas valoda un vēl bez iespējas debugot programmu soli pa solim, ir pārāk radikāli. Rezultātā 1. kursā pusi no semestra mācījām Arduino, otrā pusē tīklu administrēšanu ar iespēju nokārtot papildus pārbaudījumu un iegūt atbilstošu MicroTik sertifikātu. Motivāciju šādai izvēlei vislabāk raksturo toreizējā fakultātes dekāna L. Buligina formulējums “agrāk fiziķi sensorus pieslēdza ar vadiem, tagad ar Wi/Fi”. Atceros, ka tajā laikā Fizikas Institutā Salaspilī bija eksperimentāla iekārta hidrodinamisko procesu pētīšanai kristālu audzēšanas Čohraļska procesā izmantojot In/Ga eklektiku kā kausējuma aizvietotāju. Tīģelis, kā tas ir reālā rūpnieciskā procesā, rotēja ar visiem sensoriem. Kopā ar to rotēja arī dators, kas šos sensoru mērījumu nolasa. Datoram barošanu pievadīja izmantojot slīdkontaktus, bet datus nolasīja izmantojot Wi/Fi [ref]. Otrajā semestrī studentiem saka mācīt Python. Pēc pāris gadiem kursi apmainījās vietām, pirmajā kursā Python, otrā Arduino un datortīkli. Pieredze rāda, ka Arduino arvien plašāk tiek lietoti gan eksperimentu automatizācijā gan arī citos projektos, tāpēc 2022. gadā, izmantojot kārtējo fizikas bakalaura studiju programmas akreditāciju, tika nolemts kursa Arduino daļu paplašināt līdz pilntiesīgam studiju kursam. Svarīgi atzīmēt, ka kursa klausītāji jau prot programmēt, prot Python. Tā kā šeit ir kursa materiālu 3 reizi būtiski pārstrādāta un paplašinātā versija.

2.2 Oriģinālie moduļi

Gatavojot kursa saturu, pirmais jautājums bija kādu *perifēriju iekārtu* veido izmantot. Bija pieejami sekojoši varianti:



Att. 2.1: Kursa elektronikas daļas izvešanas iespējas: izmantojot maketplates [2] vai mācību mērķim speciāli veidotas multifunkcionālas paplašinājuma plates

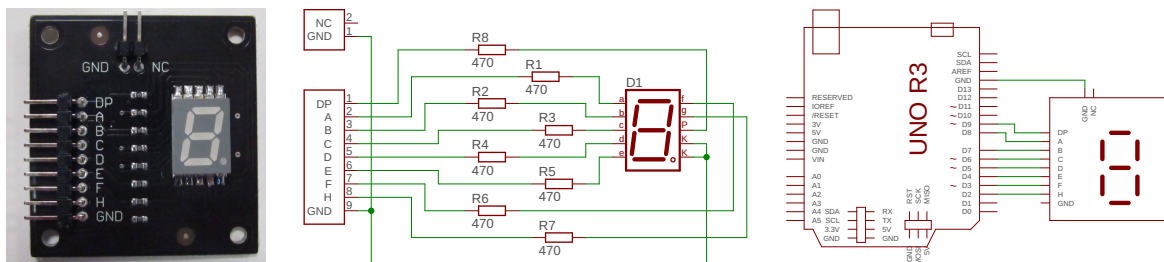
- Spiedpogas, LED un citas lietas saslēgt izmantojot maketplates. Tā parasti rīkojas interneta projektu autori.
- Lietot specializētas mācību mērķim veidotas multifunkcionālas paplašinājuma plates, kuras vienkārši uzspauž uz Arduino. Tādu ceļu izvēlējas RTU entuziasti, kas izveidoja sumoBOY, [1].
- Komplekti ar relatīvi lielu skaitu ļoti vienkāršu sensoru un slēdžu, kuri savienojami ar vadiem. Piemēram slavenais 37 sensoru komplekts, kuru joprojām var atrast Ebay dažādos izpildījumos un kura izstrādātāju man tā arī nav izdevies noskaidrot.
- Dažnedažādas sarežģītākas specializētas plates, kuras pieejamas Ebay plašumos.

Intuitīvi liekas, ka pirmais variants ir visvienkāršākais un visrobustākais. Mana pieredze darbā ar bērniem *žurnāla IR Jauno Tehnoloģiju skolā* liecināja, ka viens pasniedzējs spēj uzraudzīt maksimāli 10 studentus kas strādā ar maketplatēm. Bija skaidrs, ka šādā veidā auditorija iestrēgs tīri elektronisku problēmu risināšanā un pie programmēšanas (kas ir kursa mērķis) nonāks labākā gadījumā nodarbības beigās. Tāpēc šis variants tika atmests. Savukārt otrais variants no elektronikas viedokļa pārāk pārāk triviāls: uzspaud paneli, kaut ko sakopē no kursa apraksta un galvā nekas neaizķeras...3 un 4 varianti atkrita gan ierobežoto finansiālo iespēju dēļ gan arī tāpēc, ka nespēju atrast vidējas sarežģītības pakāpes mācību platīšu. Esošās bija universālas, dažādu uzdevumu veikšanai, tāpēc veicot *pirmos soļus* uz tām bija pārāk daudz ar konkrēto uzdevumu nesaistīti elementi. Tā izkristalizējās nepieciešamība izveidot nepieciešamo pašam, plus kaut ko piepirkt klāt. Katrai platītei ir sava neliela vēsture.

Pirmos divus gadus studentus apmācīju ar nelielu komplektu skaitu, un pēc tam saņēmu LU Fonda firmas Mikrotiks apmaksātu projektu "Programmējam ar prieku" kura ietvaros, izmantojot divu gadu pieredzi, izstrādāju esošo mācību komplektu [3], kas pieejams arī LU bibliotēkā [4].

2.2.1 Septiņu segmentu indikatora panelis

Arduino programmēšanu parasti sāk ar programmu Blink, kas periodiski ieslēdz un izslēdz iebūvēto spīddiodi. Ko darīt tālāk? Dabiski liekas luksofors, bet tas ir banāli un garlaicīgi. Domājot par to iegriezos MML laboratorijā paplāpāt ar Kasparu Ērgli. Runājam par šo un to. Tajā laikā, lai cik tas dīvaini neliktos, Rīgā regulāri tika filmēti Krievijas televīzijas seriāli un vienam no viņiem savajadzējās bumbu. Ka zināms, kino bumbas galvenā sastāvdaļa ir verķis ar indikatoru kas skaita sekundes līdz nullei, pārējais protams ir butaforija. Kaut



Att. 2.2: Septiņu segmentu indikatora panelis

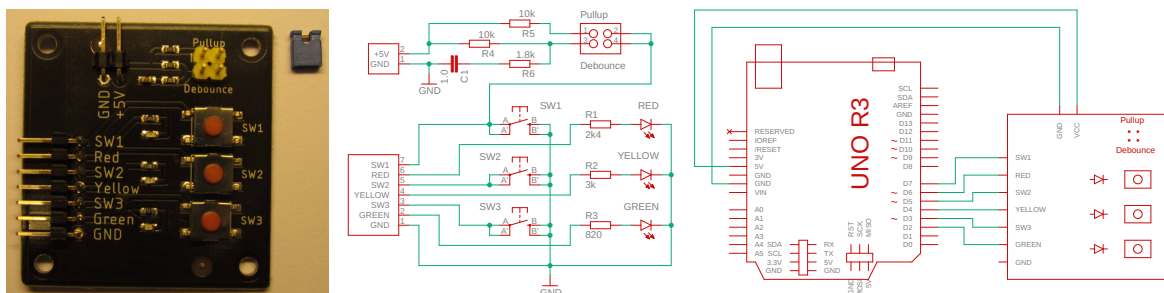
kādā veidā seriāla veidotāji bija atraduši Kasparu un viņš ļoti operatīvi izgatavoja nepieciešamo. Šā stāsta laikā es sapratu, ka esmu atradis meklēto: otrais darbs būs visparastākais 7-segmentu indikators, kas pieslēgts Arduino ciparu izejām. Saslēgt ko tādu maketplatē ir ārkārtīgi neērti, gatavas platītes pat ķīnieši nepiedāvā (platīte bezjēdzīga praktiskai lietošanai, jo tikai viens indikators aizņem 8 no $20 = 14 + 6$ pieejamām ciparu izejām). Tātad jātaisa sava platīte un ja taisa vienu tad var arī vairākas. Tā kā, ja atrodiat Krievijas seriālu, kura fragmenti filmēti Rīgā un kur figurē bumba, dodiet man ziņu. Gaiša piemiņa Kasparam, [5], kurš izveidoja Magnētisku Mīkstu Materiālu Laboratorijas eksperimentālo daļu [6]. Atbilstošā platīte, turpmāk tekstā septiņu segmentu indikatora panelis, dota attēlā 2.2, kur dots gan foto, gan principiālā shēma gan arī slēguma piemērs.

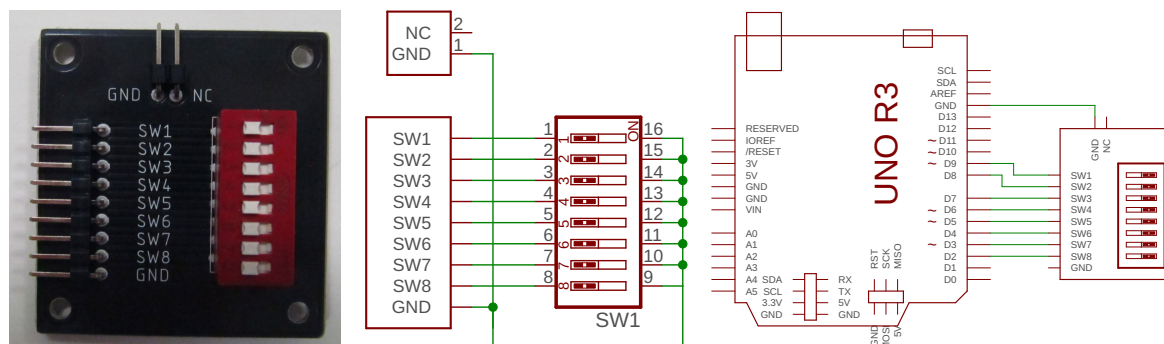
2.2.2 Interaktīvais panelis

Bērībā uzmanīgi lasīju E. Aisberga grāmatas, kas stāstīja, ka radio, televīzija un tranzistors ir ļoti vienkārši [7, 8, 9, 10]. Šodienas krāsu televizori ir ievērojami sarežģītāki par Arduino. Un tāpēc liekas, ka kas varētu būt vienkāršāk par podziņas stāvokļa nolasīšanu izmantojot digitālo ieeju? Izrādās, ka tas tā īsti nav. Tāpēc es saku, "digitālās ieejas, tas nemaz nav tik vienkārši", [11].

Platītē, kas dota attēlā 2.3, ir gan ārējais pullup rezistors R5 gan arī debounce ķēde C1, R4, R6. Vienu no šīm ķēdēm ieslēdzamas ar zilā *džampera* palīdzību var pieslēgt spiedpogai SW1. Uzliekot *džampera* vertikāli, abas ķēdes ir atslēgtas. Vēl uz platītes ir trīs spīddiodes, šoreiz gan luksafora krāsās un secībā. Katrai no tām blakus spiedpoga. Rezistori R1, R2, R3 ir pielasīti tā, lai diožu spīdēšanas spilgtums būtu apmēram vienāds.

Att. 2.3: Interaktīvais panelis





Att. 2.4: Fiksēto slēdžu panelis

2.2.3 Fiksēto slēdžu panelis

Daudzos gadījumos, izstrādājot Arduino balstītas iekārtas, ir nepieciešami fiksēta stāvokļa slēdži, pie kam bieži vien diezgan daudz. Atbilstoša platīte - fiksēto slēdžu panelis, parādīta zīmējumā. 2.4. Parasti šādus slēdžus izmanto iekārtu darbības parametru iestādīšanai un tos pārslēdz relatīvi nedaudz reižu. Šeit platītē izmantoti speciāli slēdži, kas iztur 10000 pārslēgšanas, [12].

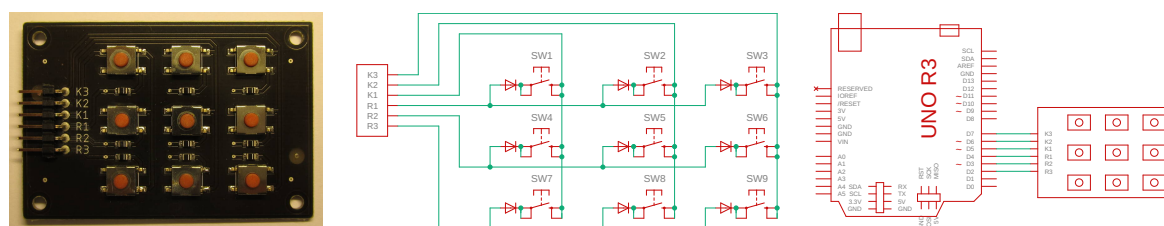
2.2.4 Klaviatūras panelis

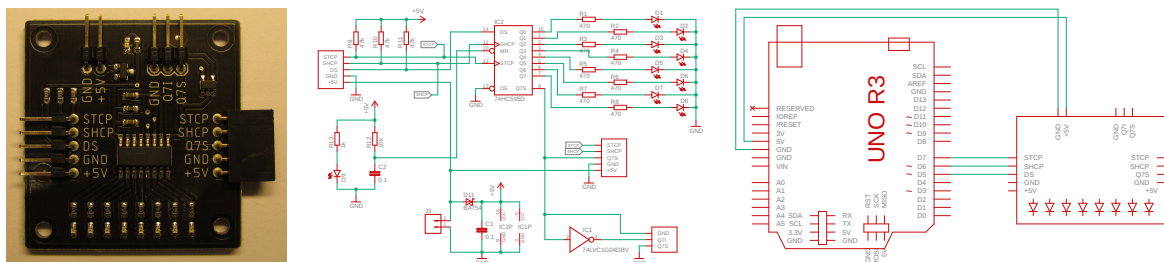
Lai tiktu galā ar lielu skaitu spiedpogu, lieto dinamisko vadīšanas metodi. Risinājums ir asprātīgs un vienkāršs, kā redzams shēmā zīmējumā. 2.5: velk horizontālus un vertikālus vadus, katrā krustpunktā ieslēdzot diodi un spiedpogu. Pareizā secībā pareizi uzliekot signālus digitālajās līnijās K1, K2, K3 un nolasot datus no digitālajām līnijām R1, R2, R3 ir iespējams noteikt kuras no pogām ir nospiestas:

- Ieejās ir jāizmanto iebūvētie pull-up rezistori. Tātad, nospiežot kādu no pogām, attiecīgā ieejā jāparādās LOW signālam.
- Ņemot vērā diožu virziens un iepriekš minēto, Arduino ieejām ir jābūt pieslēgtām pie līnijām R1, R2, R3
- Attiecīgi Arduino izejas pieslēgtas līnijām K1, K2, K3. Tā kā aktīvais signāls ir LOW, tad LOW ir jāuzliek pēc kārtas uz katras no izejām, pārējās atstājot HIGH.

Ebay ir pieejamas līdzīgas 4x4 spiedpogu klaviatūras, bet bez diodēm. Šādas klaviatūras korekti strādā tikai tad, ja nospiesta *tikai* viena spiedpoga. Tāpēc arī nolēmu izgatavot

Att. 2.5: Klaviatūras panelis





Att. 2.6: Nobīdes reģistra panelis, Virknes savienojuma pamati

klaviatūru pats, jo klaviatūra ar diodēm pareizi strādās arī tad, ja nospiedīs vienlaikus 2 vai vairāk pogas, [13].

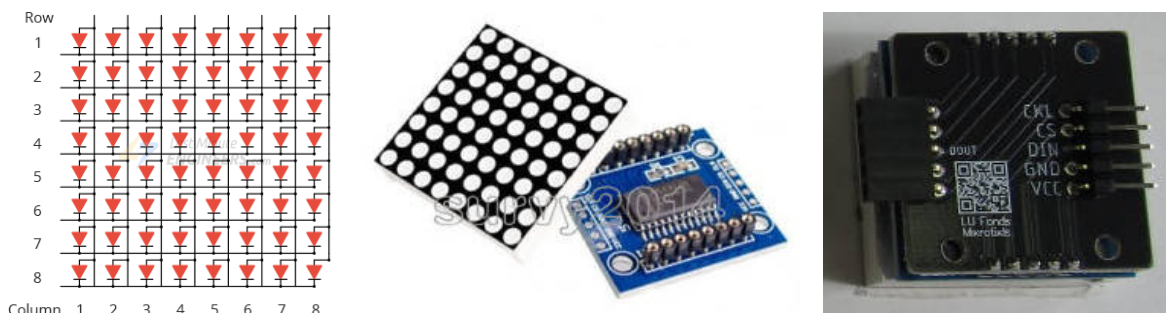
2.2.5 Nobīdes reģistra panelis

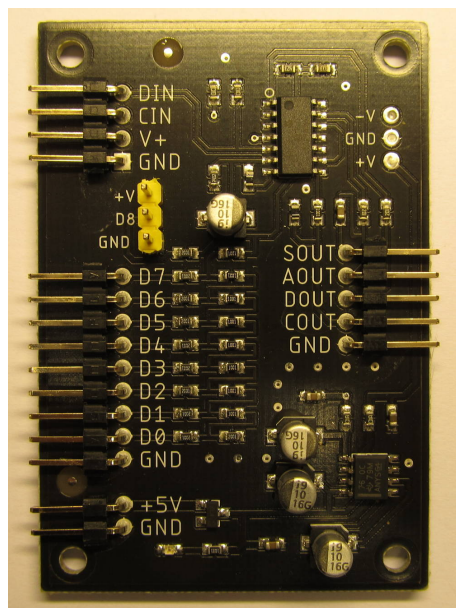
Kā jau minēts, lai strādātu ar vienu 7 segmentu indikatoru, tas pie Arduino jāpieslēdz ar 9 vadu palīdzību, pie kam aizņemot gandrīz pusi no pieejamām digitālajām izejām. Ir vienkāršs un arī lēts veids kā ar virknes savienojuma palīdzību vadīt neierobežotu mirdzdižu skaitu izmantojot mikroshēmu 74HC595 [14]. Atbilstošā platīte dota zīmējumā 2.6. Pareizi padodot signālus uz ieejām STCP, SHCP, DS iespējams vadīt *katru* no 8 spīddiodēm neatkarīgi vienu no otras. Platītes izejas ligzdai var pievienot vai vairākas tādas pašas platītes, un vadīt vajadzīgo skaitu spīddižu. Uz platītes ir gan aizsardzība pret nepareizi pieslēgtu barošanu D11 gan barošanas indikators R13, D9. Pēc barošanas ieslēgšanas visas reģistru šūnas tiek nonuļļotas, to veic ķēde R12, D2. Visām ieejām pieslēgti pull-up rezistori R9, R10, R11, kas ļauj shēmu vadīt manuāli izmantojot interaktīvo paneli zīm. 2.3. Savukārt invertors IC1 ļauj shēmu sacīpot (izeju Q7I pieslēgt ieejai DS) viltīgā veidā ar nedaudz negaidītu rezultātu. Ieejas un izejas izvietotas tā, lai šis modulis būtu savietojams ar nākošajā sadaļā aprakstīto 8x8 mirdzdižu matricas paneli.

2.2.6 8x8 mirdzdižu matricas panelis

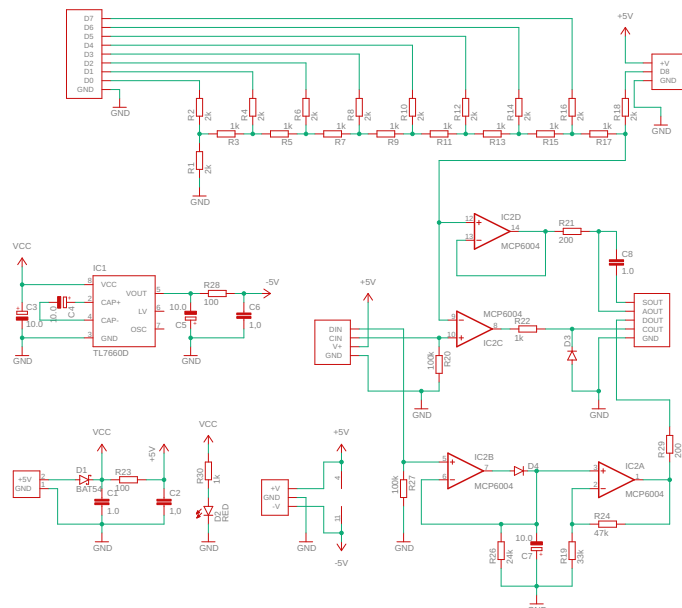
Lai vadītu vadīt 8x8 mirdzdižu ekrānu vai arī astoņus 7-segmentu indikatorus, nav nepieciešams izmantot 64 ciparu izejas un 65 vadus. Diodes saslēdz tā, kā parādīts zīmējuma 2.7 kreisajā pusē, samazinot datu līniju un vadu skaitu līdz 16. Vispirms Row 1 pieslēdz GND un ar Column ieslēdz tās pirmās rindas diodes, kuras jāieslēdz. Tad Row 1 atslēdz un pie GND pieslēdz Row 2 un ar Column palīdzību ieslēdz nepieciešamās otrās rindas diodes. Tā turpina

Att. 2.7: 8x8 mirdzdižu matricas panelis





Att. 2.8: Analogi Digitālo pārveidotāju panelis



līdz Row 8 un sāk no gala. Tādējādi *spīdošā* diode spīd 1/8 no perioda, bet nespīd 7/8 no perioda. Ja šo procesu atkārtoti pietiekoši ātri, tad izskatās, ka diode spīd nepārtraukti. Šeit ir izmantota cilvēka redzes inerces - ja spīddiode mirgo ar frekvenci, kas lielāka par apmēram 16 MHz tad cilvēkam liekas, ka tā deg nepārtraukti [15]!

Aprakstītais dinamiskās indikācijas process realizēts mikroshēmā MAX7219 [16]. Diožu matricu vada ar trīs datu līniju CKL, CS, DIN palīdzību. Komplektā vēlējos iekļaut vienu šādu moduli, bet tādu, lai vairākus šādus modulus viegli savienot kopā un iegūtu lielāku ekrānu. Ebay plašumos atradu kvadrātiskas formas platīti, kuras izmēri precīzi sakrīt ar indikatora izmēriem, kas redzama zīmējuma 2.7 vidū. Lai šādus modulus varētu viegli savienot, tika izgatavota papildus platīte ar nobīdes reģistra (zīmējums 2.6) savietojamajiem savienojumiem. Taisnību sakot, bija otrādi, nobīdes reģistra savienojumi tika izveidoti tā, lai sakristu ar šo MAX7219 paneli. Jūtos lepns, esmu uzlabojis ķīniešu produktu, [17]!

Starp citu, zīmējuma 2.1 labajā pusē redzamajā modulī četru 7-segmentu indikatoru vadība realizēta dinamiski, izmantojot divus nobīdes reģistrus 74HC595. Ķīnieši ir ietaupījuši uz strāvu ierobežojošiem rezistoriem, un pieredze rāda, ka pirmās *mirst* tieši 74HC595.

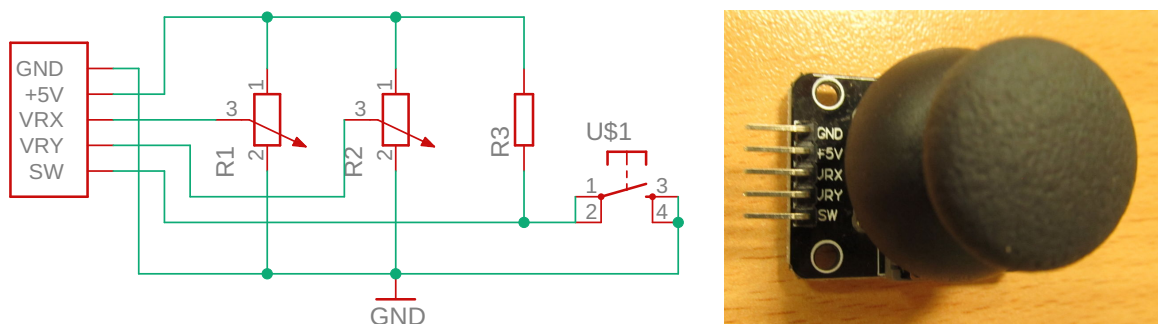
2.2.7 Analogi Digitālo pārveidotāju panelis

Pēdējā no oriģinālām platītēm ir Analogi Digitālo pārveidotāju panelis, kas dots zīmējumā. 2.8. Tā galvenā sastāvdaļa ir R-2R tipa rezistoru kāpņu ķēde R1 - R17, kas veido 8-bitu Ciparu-Analogo pārveidotāju [18]. Uz spraudņa J1 ieejām D0 - D7 padod skaitli X binārā formā (D0 - jaunākais bits, D7 - vecākais bits). Signāls LOW atbilst 0 V, bet HIGH ir U_{HIGH} , kas praktiski sakrīt ar barošanas spriegumu. Spriegumu R-2R ķēdes izejā U_{Out} aprēķina izmantojot formulu 2.8.

$$U_{Out} = U_{High} \frac{X}{2^8}$$

Principā kāpņu ķēde var iesaistīt arī ieeju D8 iegūstot 9-bitu CAP, bet šī izeja paredzēta nedaudz citiem mērķiem.

No CAP signāls nonāk analogā signāla atkārtotājā-buferī IC2D [19] un tiek padota gan tieši uz izeju AOUT gan arī caur kondensatoru C8 uz SOUT tādējādi atfiltrējot signāla



Att. 2.9: Džoiistika panelis, tā shēma

līdzstrāvas komponenti. Operāciju pastiprinātājs IC2C tiek izmantots kā analoģo signālu komparators, kurš salīdzina CAP izejas signālu ar CIN ieejas signālu. Ja $U_{CIN} > U_{CAP}$, tad komparatora izejā COUT ir U_{HIGH} , pretējā gadījumā U_{LOW} . Tādējādi var izveidot Analogo-Ciparu pārveidotāju!

Operāciju pastiprinātāji IC2B un IC2A ļauj noteikt maiņstrāvas signāla no DIN amplitūdu [20]. Kā vienu no mērķiem šīs platītes izveidē bija vēlme nomērīt svārstību kontūra rezonanses raksturlīkni.

No operāciju pastiprinātājiem samērā viegli var veidot *analogos datorus* [20, 21], bet vienmēr jāatceras, ka operāciju pastiprinātāja izejā nekad nevarēs dabūt signālu, kas sakrīt ar barošanas signālu! Tāpēc, lai analogā signāla izejās AOUT un DOUT varētu iegūt signālus tuvu nullei, operāciju pastiprinātājs ir jābaro ar divpolāru barošanu. Šim nolūkam shēma ap IC1 no 5 V iegūt $-5 V$ Savukārt, lai Arduino ieejā nenonāktu negatīvs spriegums no komparatora, IC2C izejā ir rezistors R22 un diode D3 sprostvirzienā. Uz platītes ir barošanas polaritātes aizsardzības shēma D1 kā arī barošanas indikators R30 un D2.

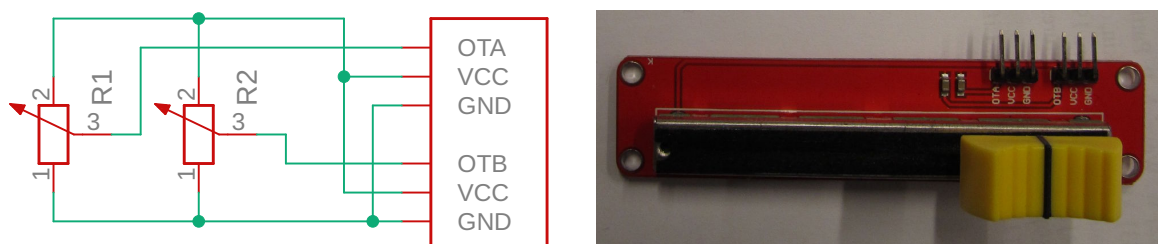
2.3 Gatavie moduļi

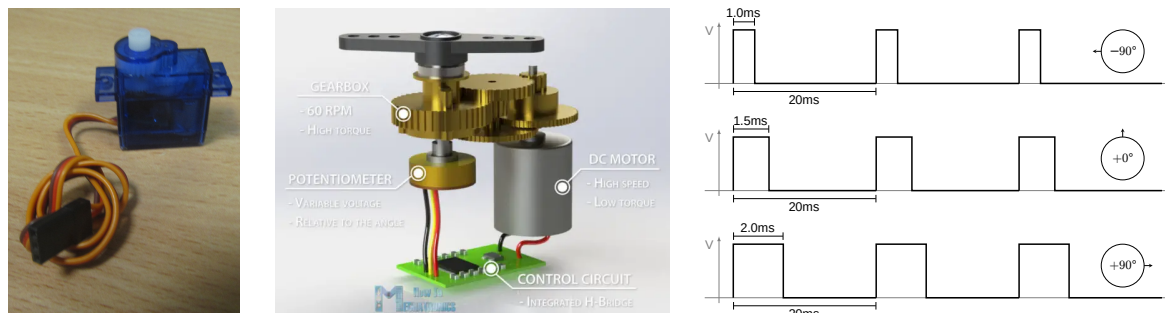
Lētāk nopirkt gatavu nekā censties izgavaot mazu skaitu savu moduļu. Tāpēc daļu kastītes satura iegādājos Ebay.

2.3.1 Analogā signāla avoti

Kursa pirmsākumos kā mainīga analogā signāla avots tika izmantots džoiistiks, zīmējums 2.9. Tas sastāv no diviem potenciometriem un vienas spiedpogas ar pull-up rezistoru. Nodarbību laikā izrādījās, ka ar džoiistiku uzstādīt nepieciešamo signālu ir neērti, tāpēc komplektiem tika iegādāti parasti potenciometri, zīmējums 2.10. Komplektos, kas tiek izmantoti nodarbībās, ir gan potenciometri gan arī džoiistiki.

Att. 2.10: Potenciometra panelis, tā shēma





Att. 2.11: Servomotors SG90, tā uzbūve [22] un vadības signāli [23]

2.3.2 Servomotors SG90

Servomotors ir izpildmehānisms, kas precīzi seko uzdotajiem kustības parametriem (pozīcija, ātrums, paātrinājums, spēks) izmantojot iebūvētu automātisko stāvokļa korekciju. Papildus motoram izpildmehānismā ir sensors un kontrolieris, kas kopdarbībā nodrošina nepieciešamo kustību. Komplektā ietilpst servomotors SG90, kas nodrošina uzdotu pagriezienu pozīciju, zīmējums 2.11.

Servomotors sastāv no līdzstrāvas motora, pazeminošās pārnēsunkārības zobratiem, potenciometra, kas nosaka pagriezienu leņķi, un kontroliera. Kā vadības signālu izmanto pēc pulsa platuma modulētu signālu. Uz Servomotora kontrolieri tiek padots ciparu signāls ar frekvenci 50 Hz, kur signāla HIGH līmeņa garums uzdod pagriezienu leņķi [22]. Saveinojuma spraudņa signālu atšifrējums ir šāds

Vada krāsa	Intuīcija	Signāls
brūna	auksts	GND
sarkana	ļoti karsts	+5V
dzeltena		vadības PWM



Ļoti līdzīgs ir tā sauktais nepārtrauktas kustības servomotors FS90R, kurš var veikt pilnu apgriezību un kontrolēts tiek rotācijas ātrums.

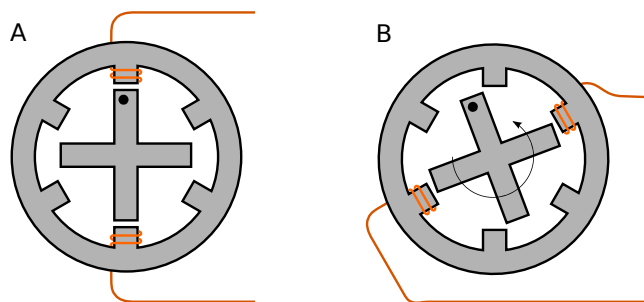
2.3.3 Soļu dzinējs 28BYJ-48

Soļu dzinējs ir elektromehāniska ierīce, kas saņem impulsu virkni un pagriež asi par precīzi fiksētu leņķi [24]. Tas sastāv no statora ar vairākām spolēm un magnētiska materiāla rotora, sk. 2.12 zīmējumu. Vienkāršota darbība gaita ir sekojoša

- A** Rotors atrodas tāda stāvoklī, lai caur to noslēgtos ieslēgto augšējās un apakšējās spoļu magnētiskā lauka spēka līnijas
- B** Augšējo un apakšējo spoļu izslēdz, ieslēdz nākošās divas (pa pulksteņa rādītāja virzienu). Tā kā spoļu pāri ir 3, bet rotoram ir 4 zobi, tad, lai magnētiskā lauka spēka līnijas atkal noslēgtos caur rotoru, tam ir jāpagriežas par 30° pretēji pulksteņa rādītāja virzienam.

Mūsdienu soļu dzinējiem parasti ir 4 spoles, bet savukārt rotora forma ir tāda, ka tā rotors veic pilnu apgriezību pēc 200 spoļu pārlēgšanas. Šāda soļu dzinēja uzbūve un darbības principi ir parādīti nākošajā attēlā 2.13. Pievērsiet uzmanību sekojošām konstrukcijas īpatnībām:

- Rotoram ir 25 zobīņi, tātad zobīņu skaits nedalās ar 4 bez atlikuma!



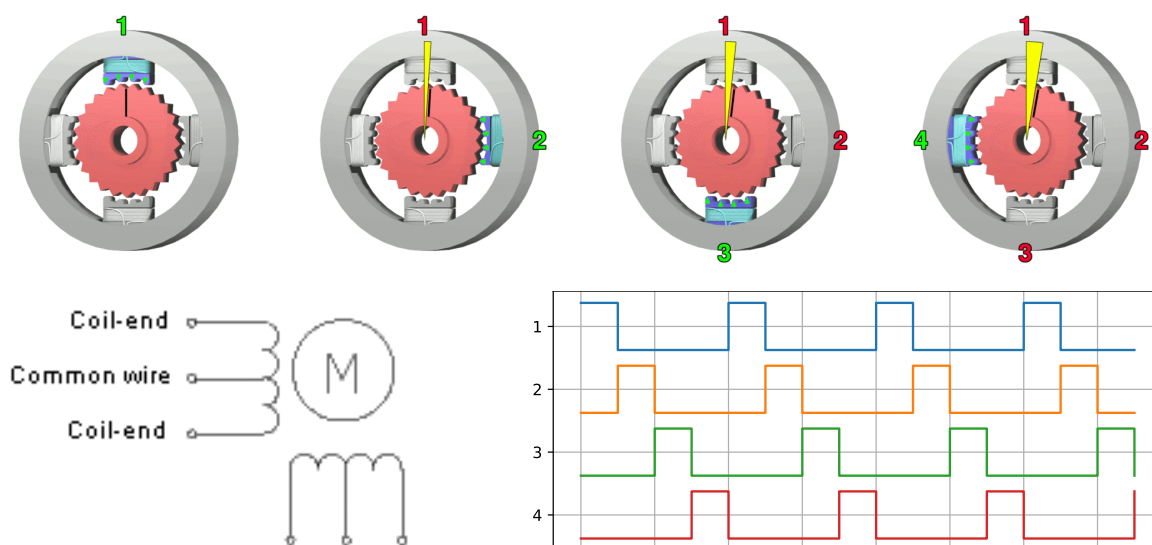
Att. 2.12: Soļu dzinēja uzbūve un vienkāršota darbības shēma, [24]

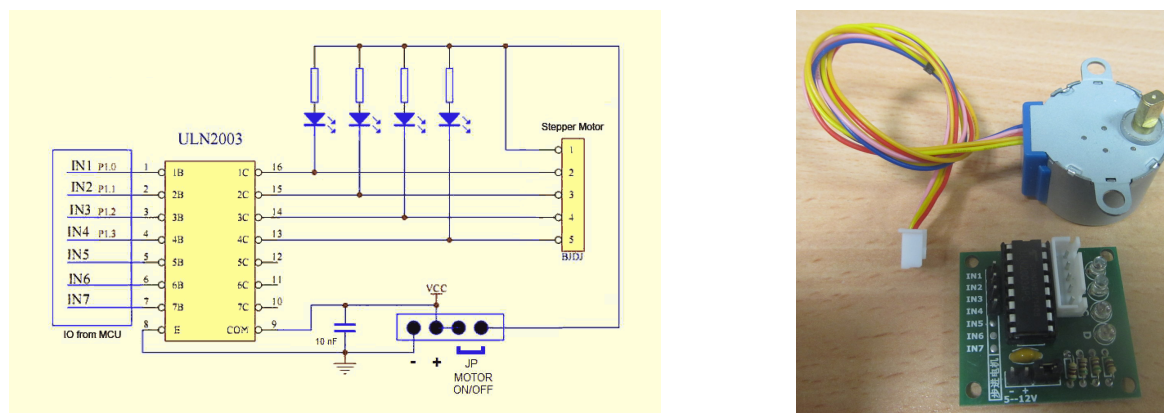
- Pie spolēm uz statora ir tieši tādi paši antizobiņi.

Tālāk apskatīsim, kas notiks pēc kārtas ieslēdzot katru no spolēm apskatot 4 soļus [24].

1. Augšējais elektromagnēts (1) ir ieslēgts un pievelk zobratveida rotora tuvākos zobus. Pievērsiet uzmanību tam, ka pie elektromagnēta (1) zobi ir precīzi pretī sazobei, bet pie labās puses magnēta (2) zobrats un sazobe ir nedaudz nobīdīti viens no otra.
2. Augšējo elektromagnētu (1) izslēdz un ieslēdz labās puses elektromagnētu (2), kā rezultātā zobrata zobrats tiek ievilkts sazobē. Ka rezultātā motora rotors pagriežas par 3.6° .
3. Labās puses elektromagnētu (2) izslēdz, ieslēdz apakšējo elektromagnētu (3). Rotors pagriežas vēl par 3.6° .
4. Apakšējo elektromagnētu (3) izslēdz, ieslēdz kreiso elektromagnētu (4). Rotors atkal pagriežas par 3.6° . Kā rezultātā rotors ir pagriezies par viena zoba tiesu, tātad vajadzīgi 100 soļi lai rotors pagriežtos par pilnu apgriezumu.

Att. 2.13: Unipolara soļu dzinēja darbības princips, spoļu slēgums un vadības signāli, [24]





Att. 2.14: Soļu dzinējs un tā vadības panelis un tās shēma [26]

Komplektā ietilpst soļu dzinējs 28BYJ-48 [25]. Motors vienā solī veic pagriezienu par 5.625° , pie kam tajā ir iebūvēts reduktors 64:1. Tātad reduktora ass pilnu apgriezienu veic 4096 soļos. Soļu dzinēju vadīsim izmantojot speciālu paneli [26], sk. 2.14 zīmējumu.

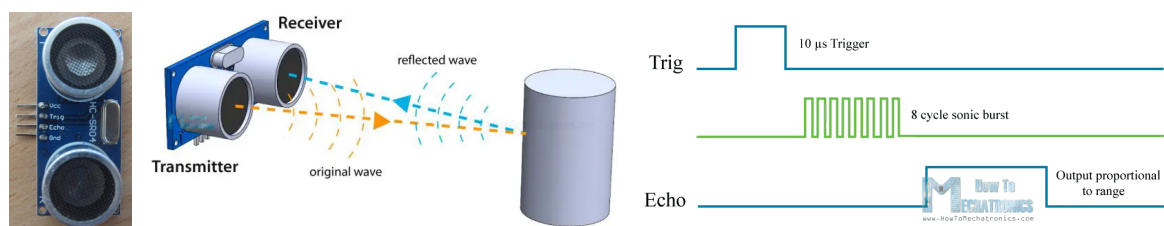
Atbilstoši shēmai 2.13 zīmējumā, soļu dzinēja spoļu viduspunkti ir jāpieslēdz barošanas spriegumam, bet galapunkti pareizā secībā pie GND. Šo uzdevumu tad arī veic mikroshēma ULN2003, kas sastāv no septiņu NPN Darlington tranzistoru masīva. Bez tam tur ir iebūvētas diodes, kas šos tranzistorus aizsargā induktīvo slodžu pārslēgšanas laikā.

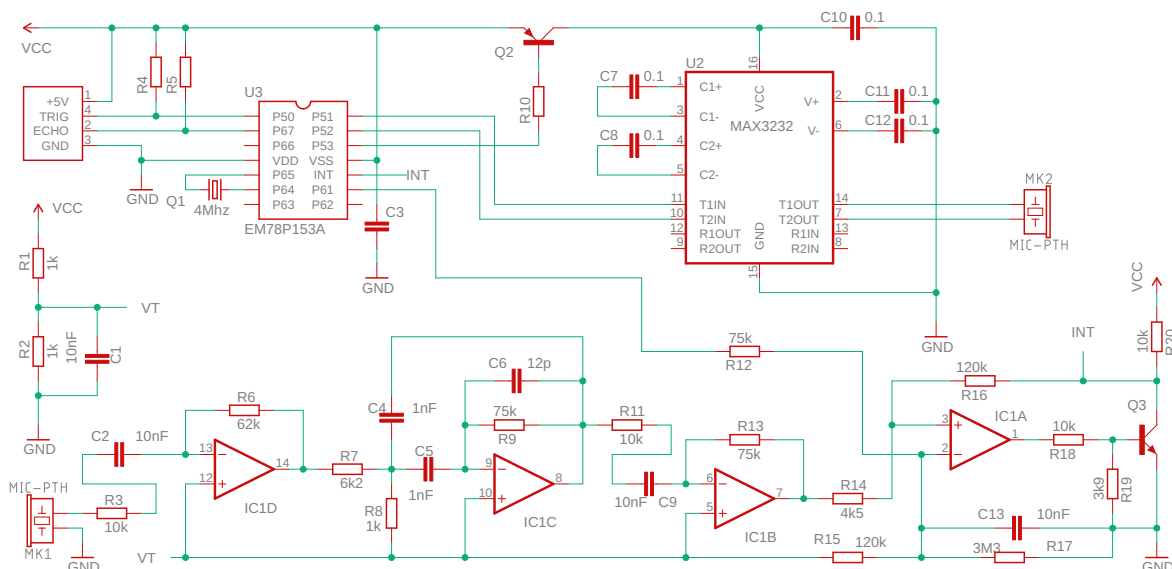
2.3.4 Ultraskaņas attāluma sensors HC-SR04

Komplektā ietilpst ultraskaņas attāluma sensors HC-SR04, zīmējums 2.15. Tādu sensoru izmanto piemēram automašīnās izmanto kā pārkošanās sensoru. Kā tas strādā?

1. Mēs vēlamies izmērīt attālumu līdz šķērslim, tāpēc uz sensora ieeju TRIG nosūtām $10\mu\text{sec}$ garu impulsu.
2. Sensors veic nelielu sagatavošanās darbu un noraida ultraskaņas signālu ar frekvenci 44 kHz, kas satāv no 8 impulsiem
3. Gaidam nosūtītā signāla atbalsi no tuvākā pietiekoši liela šķēršļa. Sensora ECHO izejā tiek padots signāls, kura garums ir proporcionāls laikam, kas nepieciešams lai atnāktu ultraskaņas signāla atbalss

Att. 2.15: Ultraskaņas attāluma sensors HC-SR04 un tā darbības princips [27] un signālu diagramma





Att. 2.16: Ultraskaņas attāluma sensora *iespējamā* principiālā shēma

4. Zinot skaņas ātrumu gaisā, aprēķina attālumu līdz šķērslim. Ir atrodams šā sensora variants ar iebūvētu temperatūras sensoru, lai precizētu skaņas ātrumu gaisā atkarībā no temperatūras un tādējādi precizētu arī attālumu.

Ultraskaņas sensora pamatā ir izmantots pjezoelements - kristāls, kurš maina savus ģeometriskos izmērus ārējā elektriskā lauka ietekmē, [28]. Kristāls strādā arī pretējā virzienā, to deformējot uz tā veidojas potenciālu starpība. Tāpēc viena un tā paša tipa sensoru var lietot gan kā skaļruni gan kā mikrofonu. Lai kristāls efektīvi strādātu kā skaļrunis, tam nepieciešams signāls ar vairāku desmitu voltu amplitūdu un tas rada zināmas neērtības, jo Arduino baro ar tikai ar 5 V spriegumu. Tātad nepieciešama sprieguma paaugstināšanas ķēde, līdzīgi kā tas darīts Analogi Digitālo pārveidotāju panelī, sadaļā 2.2.7, kā arī atbilstošā signāla komutācijas ķēde. Sensorā HC-SR04 tas ir atrisināts ģeniāli asprātīgi - izmantojot senā virknes interfeisa RS-232 [28] signālu formēšanas mikroshēmu MAX232 vai MAX3232, kas veic abus uzdevumus - gan uzšūpo signāla amplitūdu gan arī komutē signālu, un tajā pašā laikā ir smieklīgi lēta.

Meklējot sensora shēmu, atradu *pirmavotu* [29], gadu tūkstoša paša sākuma dokumentu, kas ir pirmās sensora versijas apraksts. Tā autoru man diemžēl neizdevās noskaidrot, jo praktiski visas saites, kam vajadzētu aizvest pie autora, nestrādā. Priežot pēc ārējā izskata, komplektā ir sensora 2017. gada versija [30]. Savukārt attēlā 2.16 pārzīmēta internetā atrasta starpversija vēl ar tranzistoriem.

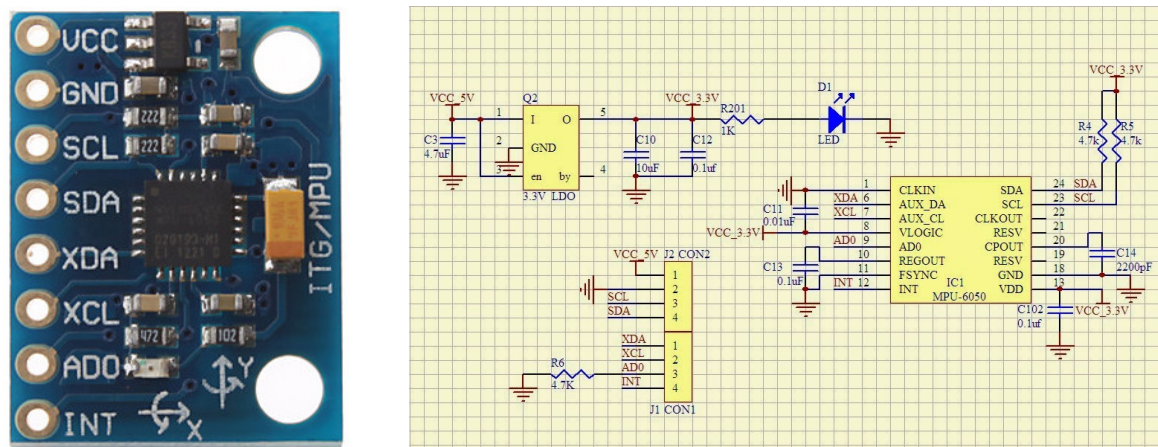
Spraudnis pievienots tieši vienkristāla mikroprocesoram, sākotnēji EM78P153A

2.3.5 Akselometrs un žiroskops MPU-6050

Komplektā ietilpst akselometrs un žiroskops MPU-6050

Literatūra

- [1] We are building robots. <http://robot-nest.com/>. [Online; accessed 2023.07.10].



Att. 2.17: Akselerometra-žiroskopa sensora MPU-6050 modulis GY-521, tā shēma [31] ka arī šā moduļa slēgums ar Arduino UNO mikroductoru. Fotografijā redzamajā platītē I2C līnijas pull-up rezistoru R4 un R5 nomināls nesakrīt ar shēmā doto vērtību

- [2] 15 Arduino Uno Breadboard Projects. <https://www.makerspaces.com/15-simple-arduino-uno-breadboard-projects/>. [Online; accessed 2023.07.10].
- [3] Latvijas Universitātē programmē ar prieku. https://www.youtube.com/watch?v=pcfKiKUWw_c/. [Online; accessed 2023.07.10].
- [4] Programmējam ar prieku jau Bibliotēkā. <http://blogi.lu.lv/drikis/2019/12/12/programmejam-ar-prieku-jau-biblioteka/>. [Online; accessed 2023.07.10].
- [5] Kaspara Ērgļa piemiņas stipendija. <https://www.fonds.lv/lepojamies/stipendiati/2021/2022-akad-gada/kaspara-ergla-pieminas-stipendija/>. [Online; accessed 2023.07.10].
- [6] Magnētisku Mīkstu Materiālu Laboratorija. <https://mmml.lu.lv/>. [Online; accessed 2023.07.10].
- [7] E. Aisbergs. *Radio? Tas ir ļoti vienkārši!* Liesma, Rīga, 1968.
- [8] E. Aisbergs. *Tranzistors? Tas ir ļoti vienkārši!* Liesma, Rīga, 1967.
- [9] E. Aisbergs. *Televīzija? Tas ir ļoti vienkārši.* Liesma, Rīga, 1967.
- [10] E. Aisbergs and Ž. Duri. *Krāsainā televīzija? Tas ir gandrīz vienkārši.* Liesma, Rīga, 1971.
- [11] Ivars Driķis. Digitālās ieejas, tas nemaz nav tik vienkārši. <http://blogi.lu.lv/drikis/2019/09/14/digitalas-ieeejas-tas-nemaz-nav-tik-vienkarsi/>. [Online; accessed 2023.07.10].
- [12] Ivars Driķis. Fiksētie slēdži. <http://blogi.lu.lv/drikis/2018/09/24/fiksetie-sledzi/>. [Online; accessed 2023.07.10].
- [13] Ivars Driķis. Daudzpogu klaviatūra. <http://blogi.lu.lv/drikis/2021/12/03/daudzpogu-klaviatura/>. [Online; accessed 2023.07.10].
- [14] SN74HC595 8-bit shift registers with 3-state output registers. <https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/SN74HC595.pdf>. [Online; accessed 2022.09.25].

- [15] Patrick Mineault. What's the maximal frame rate humans can perceive? <https://xcorr.net/2011/11/20/whats-the-maximal-frame-rate-humans-can-perceive/>. [Online; accessed 2023.07.13].
- [16] Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers MAX7219/MAX7221. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX7219-MAX7221.pdf>. [Online; accessed 2022.09.25].
- [17] Ivars Driķis. Ļoti ļoti daudz mirdzdiožu. <http://blogi.lu.lv/drikis/2018/09/24/loti-loti-daudz-mirdzdiozu/>. [Online; accessed 2023.07.10].
- [18] Wikipedia, Resistor ladder. https://en.wikipedia.org/wiki/Resistor_ladder. [Online; accessed 2023.07.10].
- [19] Wikipedia, Operational amplifier. https://en.wikipedia.org/wiki/Operational_amplifier. [Online; accessed 2023.07.13].
- [20] Top 10 Fundamental Op Amp Circuits. <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/fundamentals-of-op-amp-circuits>. [Online; accessed 2023.07.13].
- [21] Wikipedia, Analog computer. https://en.wikipedia.org/wiki/Analog_computer. [Online; accessed 2023.07.13].
- [22] How to Control Servo Motors with Arduino – Complete Guide. <https://howtomechatronics.com/how-it-works/how-servo-motors-work-how-to-control-servos-using-arduino/>. [Online; accessed 2023.07.14].
- [23] NUS: SG90 Micro Servo. <https://wiki.nus.edu.sg/display/Arduino/Servo+Motors>. [Online; accessed 2023.07.14].
- [24] Wikipedia: Stepper motor. https://en.wikipedia.org/wiki/Stepper_motor. [Online; accessed 2022.02.23].
- [25] 28BYJ-48 - 5V Stepper Motor. <https://components101.com/motors/28byj-48-stepper-motor>. [Online; accessed 2022.02.23].
- [26] 4 Phase ULN2003 Stepper Motor Driver PCB. <https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/ULN2003A-PCB.pdf>. [Online; accessed 2022.02.23].
- [27] Ultrasonic Sensor HC-SR04 and Arduino – Complete Guide. <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/ultrasonic-sensor-hc-sr04/>. [Online; accessed 2023.07.14].
- [28] Wikipedia. Piezoelectricity. <https://en.wikipedia.org/wiki/Piezoelectricity/>. [Online; accessed 2023.08.16].
- [29] SRF04 - Ultra-Sonic Ranger, Technical Specification. <https://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf04tech.htm>. [Online; accessed 2023.08.16].
- [30] PC Services. Circuit Diagram Ultrasonic Distance Sensor HC-SR04. <http://www.pcserviceelectronics.co.uk/arduino/Ultrasonic/electronics.php>. [Online; accessed 2023.08.16].
- [31] Gy-521 schematic. <http://www.haoyuelectronics.com/Attachment/GY-521/GY-521-SCH.jpg>. [Online; accessed 2021.12.11].