



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Darius Valužis**

**GAMINIO WV5 (PAKROVIMO STOTELĖS)**

**TESTAVIMO STENDAS**

Baigiamasis bakalauro projektas

**Vadovas**

Prof. dr. Vytautas Deksnys

**KAUNAS, 2015**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**ELEKTRONIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

**GAMINIO WV5 (PAKROVIMO STOTELĖS) TESTAVIMO  
STENDAS**

Baigiamasis bakalauro / projektas

**Elektronikos inžinerija (kodas 612H61002)**

**Vadovas**

Prof. dr. Vytautas Deksnys

**Recenzentas**

Prof. dr. Linas Svilainis

**Projektą atliko**

Darius Valužis

**KAUNAS, 2015**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

---

(Fakultetas)

Darius Valužis

---

(Studento vardas, pavardė)

Elektronikos inžinerija (kodas 612H61002)

---

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Pavadinimas“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. gegužės 20 d.  
\_\_\_\_\_

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Darius Valužio** baigiamasis projektas tema „Gaminio WV5 krovimo stotelės testavimo stendas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)

# **BAKALAUROBIO BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS**

Valužis, D. Gaminio WV5 (pakrovimo stotelės) testavimo standas . Elektronikos inžinerijos baigiamasis projektas / vadovas Prof. dr. Vytautas Deksnys; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektronikos inžinerijos katedra.

Kaunas, 2015. 36 psl.

## **SANTRAUKA**

Šio darbo tikslas ir yra suprojektuoti testavimo stendo principinę schemą, skirtą „Karcher GmbH“ gaminio testavimui.

Išanalizavus įtampos ir srovės matavimo variantus buvo priimtas optimaliausias sprendimas naudoti srovės šunto stiprintuvą srovės matavimui su diapazono keitikliu mažai ir didelei srovei matuoti. Kadangi grandinėje esančios įtampos buvo artimos mikrovaldiklio atraminei įtampai, matavimui buvo naudojamas daliklis, mažinantis matuojamą įtampą per pusę.

Ištyrus pagrindinius komponentus, buvo išanalizuoti reikšmingiausi parametrai, parinkti ir apskaičiuoti elementai, kurių dėka užtikrinamas stabilus darbas. Atliktas srovės ribotuvo schemos tyrimas ir pavaizduota srovės priklausomybė nuo varžos.

Suprojektuota testavimo stendo sistema. Sutrasiuota PCB vienoje plokštėje kartu su įtampos lygintuvu ir maitinimo šaltiniais.

Valužis, D. Testing stand for WV5 charging Station. Electronics Engineering qualification degree / supervisor Prof. dr. Vytautas Deksnys; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electronics engineering.

Kaunas, 2015. 36 pg.

## **SUMMARY**

The purpose of this work is to design testing stand of WV5 Charging Station for testing the „Karcher GmbH“ company's product.

After analyzing voltage and current measurement options, the optimal solution was taken to use current sense amplifier for current measurement with range changer, for measuring low and high current.

Because in circuit measured voltage was close to microcontroller reference voltage, for measurement was taken divider, which decrease measuring voltage in half.

After investigation of main components, were described meaningful parameters for project schematic, chosen and calculated values of elements, which ensure reliable work. Accomplished current limiter schematic's research and analysed current dependence of resistance.

Was designed testing stand and routed PCB in one board with voltage rectifier and all power supplies.

## TURINYS

1.ĮVADAS.....	8
2. SROVĖS IR ĮTAMPOS MATAVIMAS .....	10
3. TYRIMŲ DALIS .....	13
3.1. Maitinimo šaltinių pritaikymas projekte .....	13
3.2. Srovės ribotuvo tyrimas .....	18
3.3. STM32F101RC MV charakteristikos .....	21
3.4. Srovės matavimo grandinė.....	22
4. PROJEKTINĖ DALIS .....	23
IŠVADOS.....	33
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	34

## 1. ĮVADAS

Šiame baigiamajame bakalauriniame darbe dėmesys bus skiriamas naujai pagamintų spausdintinių plokščių kokybės tikrinimui. Jis susidaro iš kelių dalių, vizualinio ir funkcinio patikrinimų. Kiekvienas iš jų yra atliekamas laikantis visuotinai priimtų standartų ir gamintojo nurodytų reikalavimų.

Vizualiai patikrinti spausdintinę plokštę dažniausiai nereikia specialios įrangos, pakanka specialisto, kuris apžiūri ar gaminys atkeliavęs iš gamybos neturi plika akimi pastebimų defektų.

Plokštės funkcionalumo patikrinimo metu yra stebima ar spausdintinė plokštė sugeba atlikti jai skirtas funkcijas ir ar atlieka jas taip, kaip gamintojas nurodė. Tai atliekama naudojant specialiai spausdintinės plokštės testavimui skirtą įrangą. Testavimo įrangos variacijų yra be galo daug, tai priklauso nuo testuojamos spausdintinės plokštės, jos formos, parametrų, charakteristikų, funkcijų. Savo korpusu testavimo įranga yra pritaikoma efektyviam, patikimam ir kaip įmanoma greitesniam plokštės testavimui.

Šio darbo tikslas ir yra suprojektuoti testavimo stendo principinę schemą, skirtą „Karcher“ įmonės gaminio testavimui. Tai yra langų valytuvo „WV5“ spausdintinė plokštė, atsakinga už akumuliatoriaus pakrovimą.

Formuluojant temos aktualumą, reikia pabrėžti, kad testuojama plokštė gaminama didžiuliais kiekiais. Reikalaujama aukšta kokybė ir kiek įmanoma mažesnis klaidų skaičius. Broko tikimybę sumažinti iki 0 yra neįmanoma, todėl kaip sprendimo būdas būtų testavimo procesas, atsijojantis netinkamus gaminius. Ši tema yra praktinio pobūdžio ir yra neatsiejama pramoninių įmonių užsiimančių PCB gamyba dalis.

### **Uždaviniai:**

- 1. Išanalizuoti srovės ir įtampos matavimo būdus ir pritaikyti juos šiame projekte.**
- 2. Pagrįsti ir parinkti tinkamus principinės schemos elementus.**
- 3. Suprojektuoti testavimo stendo principinę elektrinę schemą su „Altium Designer“ paketu.**

## Sutrumpinimų sąrašas

USB	universali nuosekli sąsaja (angl. <i>Universal Serial Bus</i> )
UART	universalus asinchroninis imtuvas - siųstuvas (angl. <i>Universal Asynchronous Receiver - Transmitter</i> )
RISC	mikrovaldiklio architektūra, pasižyminti sumažintu komandų rinkiniu (angl. <i>Reduced Instruction Set Computer</i> )
SPI	nuosekli periferinė sąsaja (angl. <i>Serial Peripheral Interface Bus</i> )
PCB	spausdinta plokštė – elektronikos montavimo būdas (angl. <i>Printed Circuit Board</i> )
LQFP	Žemo profilio su išvadais esančiais keturiose pusėse korpusas (angl. <i>Low Profile Quad Flat Package</i> )
AKK	Analogas-kodas keitiklis (angl. <i>analog-code converter</i> )
KAK	Kodas-analogas keitiklis (angl. <i>code-analog converter</i> )
RTC	Taimeris (angl. <i>Real Time Clock</i> )

## 2. SROVĖS IR ĮTAMPOS MATAVIMAS

Surenkant spausdintines plokštes (PCB) yra labai daug įvairių aspektų, kurie gali įtakoti broko atsiradimą. Pavyzdžiui darbuotojų neapdairumas ar problemos, atsirandančios dėl kontaktų praradimo, tai vienos didžiausių broko atsiradimų priežasčių, kuriuos daugiausiai priklauso nuo pačios įmonės vidinės drausmės. Kokybė priklauso nuo kiekvieno, net ir mažiausio PCB elemento ir gamybos proceso dalies. Galima daryti prielaidą, kad didėjant elementų skaičiui, didėja ir tikimybė, kad gaminys bus neveikiantis. Taip pat jis gali veikti, bet jo funkcionalumas bus sumažėjęs, kas iškart nesimato. Projektavimo klaidos pastebimos gan greitai, nes jos išryškėja darant bandymus su gaminio prototipu, bet sunku nusakyti prietaiso veikimą po tam tikro laiko ar tam tikroms sąlygoms.

Priklausomai nuo PCB funkcionalumo, yra atliekami testai, kuriais patikrinama ar plokštė kokybiška. Atlikti testavimą be specialiai plokštei pritaikytos įrangos yra nepraktiška ir nepatogu. Taip pat ir žmonės atliekantys tai turi gerai išmanyti plokštės veikimą, bei jos sandarą. Įmonei tai kainuotų per daug laiko ir pinigų, todėl racialesnis sprendimas naudoti konkrečiai PCB pritaikytą testavimo įrenginį. Tokie įrenginiai yra plačiai naudojami įmonėse, gaminančiose PCB, bet savo struktūra jie tarpusavyje labai skirtingi. Tai priklauso nuo gaminamos plokštės, kuri bus testuojama ir testavimo stendo projektavimo. Testavimo įrangos pagrindinis tikslas dažnai išlieka srovės ir įtampos matavimas daugelyje PCB taškų.

Elektronikoje dažniausiai matuojama įtampa, nes srovei matuoti yra būtina nutraukti elektros grandinę, o to padaryti šiuolaikiškose elektronikos konstrukcijose tiesiog neįmanoma jų nesugadinus.

Srovių matavimas elektronikoje dažniausiai pakeičiamas įtampos kritimo ant žinomos grandinės varžos elemento matavimu.

Elektronikoje įtampos matuojamos nuo nuolatinės ir infražemųjų dažnių iki superaukštųjų dažnių. Virpesių formos yra labai įvairios. Įtampos matuojamos labai plačiame verčių intervale nuo mikrovolto dalių iki šimtų kilovoltų. Be to grandinių varžos dažniausia yra didelės, todėl voltmetrų jėgimo varžos turi būti ypač didelės ir elektronikoje įtampai matuoti naudojami elektroniniai metodai ir priemonės.

Matuojant sroves arba įtampas pirmiausia reikia apytiksliai žinoti koks šio virpesio dažnis, kreivės forma, kokia maždaug gali būti šių parametrų vertė, kokia gali būti šių dydžių matavimo paklaida ir kokia yra grandinės varža, kurioje vykdomas matavimas. Šie pradiniai duomenys leidžia pasirinkti tinkamą matavimo metodą ir matavimo priemonę: ampermetrą ir voltmetrą.

Srovė matuojama ampermetrą įjungiant nuosekliai į tiriamą grandinę (nutraukiant grandines). Kad grandinės elektrinis režimas nepakistų, reikia, kad ampermetro varža  $R_A$  būtų žymiai mažesnė už grandinės varžą  $R_G$ . Jeigu ši sąlyga neįvykdyta, tai gaunama papildoma metodo paklaida, kurios dydis yra maždaug lygus santykiui  $R_A/R_G$ .

Įtampa matuojama voltmetrą jungiant lygiagrečiai tai grandinės daliai, įtampa ant kurios yra matuojama. Kadangi voltmetro varža yra  $R_V$ , tai per jį irgi teka srovė ir dėl padidėjusios grandinės srovės pakinta įtampa ant grandinės gnybtų. Taigi voltmETRas pakeičia matuojamą įtampą ir sukelia papildomą metodo paklaidą. Šios paklaidos dydis yra maždaug lygus santykiui  $R_G/R_V$ . Todėl reikia, kad voltmetro varža būtų žymiai didesnė už grandinės varžą. Elektronikos grandinės yra silpnų srovių, t.y. didelių varžų, todėl nurodytą sąlygą sunku išlaikyti. Naudojami elektroniniai voltmETrai, kurių įėjimo varžos siekia šimtus megaomų.

Tiksliu matuoja palyginimo būdu veikiančios matavimo priemonės. Todėl ir įtampas tiksliu matuoja voltmETrai, kurie veikia palyginimo būdu: kompensaciniai voltmETrai. Palyginimo metodai naudojami ir skaitmeniniuose voltmETruose, todėl jų tikslumas irgi yra didesnis.

Elektromechaniniai rodykliniai matavimo prietaisai pagal sukimo momentą sukeliančios elektromagnetinės energijos keitimo į mechaninę energiją būdą skirstomi į tokias pagrindines grupes:

1. magnetoelektriniai;
2. elektromagnetiniai;
3. elektrodinaminiai;
4. elektrostatiniai;

Pagal rodmenų įtairo tipą, voltmETrai skirstomi į analoginius ir skaitmeninius. Analoginiuose voltmETruose rodmenų įtaisais naudojami elektromechaniniai rodykliniai matavimo prietaisai – dažniausiai magnetoelektrinės sistemos mikroampermetrai, kadangi šios sistemos elektromechaniniai prietaisai yra tiksliausi ir jautriausi. Skaitmeniniuose voltmETruose naudojami skaitmeniniai rodmenų įtaisai. Juose matuojamoji įtampa keičiama funkciniu keitikliu į nuolatinę įtampą, o pastaroji keičiama į proporcingą jos reikšmei laiko intervalą arba dažnį, kurie po to matuojami skaitmeniniais būdais. Kartais naudojami ir kompensaciniai paskiltinio balansavimo ASK arba tiesioginio keitimo lygiagretieji ASK. Lyginant su analoginiais, skaitmeniniai voltmETrai turi tokių privalumų: patogesnis ir tikslesnis rodmenų nuskaitymas, rodo ne tik išmatuotą įtampą, bet ir matavimo vienetą, paprasčiau susieti jį į sistemą su kompiuteriu tolimesnei teikiamų matavimo rezultatų analizei bei matavimo proceso valdymui, paklaidų koregavimui bei rezultatų teikimui įvairiais pavidalais: grafikais, diagramomis ir kt. Elektroniniai voltmETrai pasižymi didele įėjimo varža. Dėl to matuojamos įtampos

šaltinis labai mažai apkraunamas. Tačiau jiems reikalingas maitinimo šaltinis. Tai elektroninių voltmetrų trūkumas. [16]

Pagrindiniai būdai apskaičiuoti srovės stiprį yra keli:

Pirmasis būdas paremtas elektromagnetizmo dėsniais ir yra glaudžiai susijęs su judančios ritės galvanometru (*d'Arsonval* galvanometras). Šis jautrus ampermetras, reaguoja į nuolatinės elektros srovės tekėjimą per ritę. Priklausomai nuo pratekėjusio srovės stiprio ritėje indukuojasi magnetinis laukas. Šis laukas reaguoja į aplink ritę esantį nuolatinį magnetą ir ritę pradeda sukstis, pasukdama ir rodyklę, kuri nustatytoje skalėje rodo atitinkamą srovės stiprio dydį.

Antrasis būdas yra pagrįstas pagrindiniu elektros energijos dėsniu – Omo dėsniu. Šiuolaikinių ampermetrų esmė tai voltmetras sujungtas su labai tikslia varža (šunta). Dažnai tam naudojama manganinas, dėl savybės išlaikyti pastovią varžą kintant temperatūrai. Tai elementas susidedantis iš 86% vario, 12% mangano ir 2% nikelio. Matuojant įtampą ant šunto ir naudojant omo dėsnį, galima tiksliai apskaičiuoti srovės stiprį.

Dabartiniai ampermetrai turi vidinę varžą srovės matavimui. Tačiau šios vidinės varžos neužtenka didelių srovių matavimui, tada papildomai naudojama ir išorinis šuntas.



lygiagrečiai  $C_{IN}$  prijungti keramikinį arba tantalo kondensatorių, kurie ir padidintų reguliatoriaus stabilumą esant šaltai aplinkos temperatūrai.

Pagal gamintojo specifikaciją buvo apskaičiuoti reikalingi elementų nominalai U1 maitinimo šaltiniui: Turimi parametrai:

Reikalinga išėjimo įtampa  $V_{OUT} := 4.2 \text{ V}$

Įėjimo įtampa  $V_{IN} := 16 \text{ V}$

Maksimali Grįžtamojo ryšio įtampa  $V_{REF} := 1.23 \text{ V}$

Maksimali apkrovos įtampa  $I_{LOAD} := 3 \text{ A}$

Įtampos reguliatoriaus vidinio kvarcinio rezonatoriaus dažnis  $F := 52 \text{ kHz}$

Atsitiktinai pasirinkta varža iš galimo 1k-5k diapazono, su kuria atliekami skaičiavimai  $R_1 := 1 \text{ k}\Omega$

Pirmiausia apskaičiuojamos rezistorių varžos, kurių reikia, kad grįžtamojo ryšio pagalba būtų išgaunama reikalinga maksimali 4.2V išėjimo įtampa.

$$\text{Skaičiavimas: } V_{OUT} = V_{REF} * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (1.1)$$

$$R_2 := R_1 * \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1\right)$$

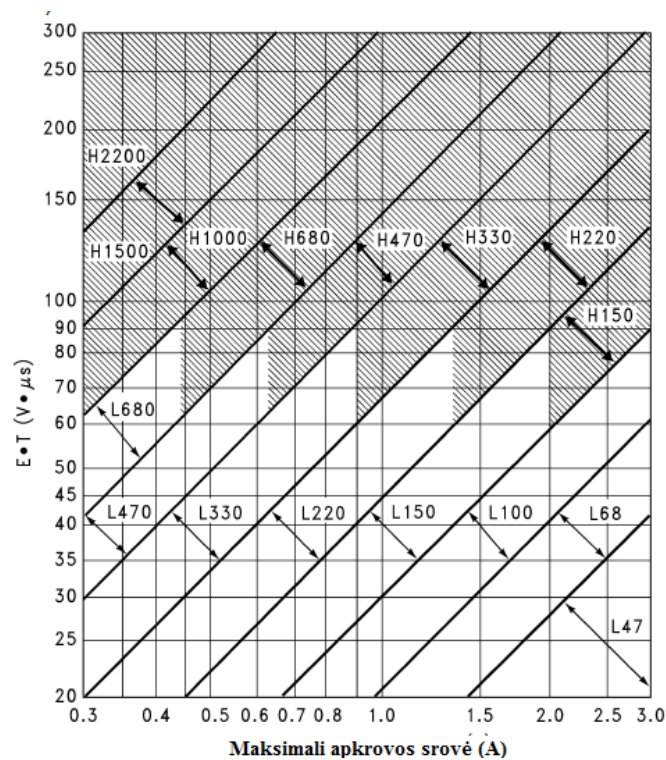
$$R_2 = (2.415 * 10^3) \Omega$$

Induktyvumo elemento pasirinkimas: F formulėje nurodoma kHz.

$$E * T := (V_{IN} - V_{OUT}) * \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} * \frac{1000}{F} \quad (1.2)$$

$$E * T = 59.567 \mu\text{s}$$

E\*T- parametras reikalingas pasirinkti induktyvumą.



**pav. 2** Gamintojo pateikta induktyvumo elemento pasirinkimo lentelė

ties maksimalia 3 amperų apkrovos srove ir apskaičiuota  $E \cdot T$  reikšme, gaunamas L100 induktyvumo elementas. Gamintojo duomenų lapuose 2 Lentelėje (angl. *Table 2*) nurodyta, kad šis elementas yra  $100 \mu H$ .

Toliau apskaičiuojama  $C_{OUT}$  reikšmė:

$$C_{OUT} := 13300 * \frac{V_{IN}}{V_{OUT} * L} \quad (1.3)$$

$$C_{OUT} = 506.667 \mu F$$

Ši vertė yra mažesnė už gamintojo duomenų lapuose pateiktą minimalią kondensatoriaus talpą, todėl bus naudojama minimali pateikta  $680 \mu F$  talpa.

Šotkio diodas parenkamas atsižvelgiant į maksimalią apkrovos srovę. Vertinant Šotki diodo srovę, ji turėtų būti 1.2 karto didesnė nei maksimali apkrovos, taigi 3.3A. Vertinant diodo įtampą, ji turėtų būti 1.25 karto didesnė nei įėjimo įtampa, ši reikšmė lygi 20V. Pagal šiuos duomenis iš pirmos lentelės (angl. *Table 1*) duomenų lapuose pasirenkamas 1N5823 diodas.

U1 ir U3 išduoda tokias pat sroves, todėl jų elementai identiški.

Maitinimo šaltinis U2 turi parametrai niekuo nesiskiria išskyrus  $V_{OUT} = 7 \text{ V}$

Pagal (1.1) formulę apskaičiuojame reikalingą  $R_2$  varžą.

$$R_2 = (4.691 * 10^3) \Omega$$

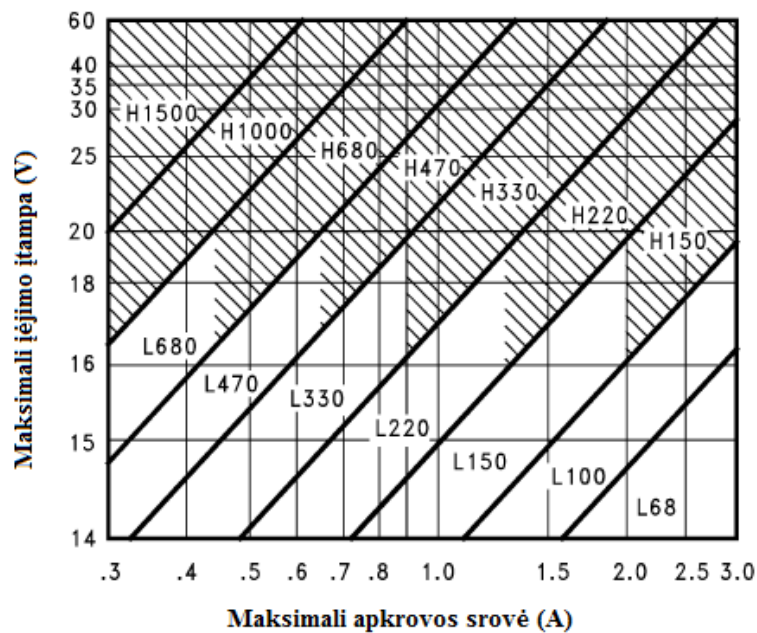
$$ET = 75.721 \mu s$$

Naudojant tą patį grafiką, pateiktą pav.3, nustatome, kad reikiamas induktyvumas bus 330 mikrohenrių  
Tai iš duomenų lapuose esančios 2 lentelės gauname reikšmę:  $L=330 \mu H$

Išėjimo kondensatoriaus pagal (1.3) apskaičiuota reikšmė lygi  $92.121 \mu F$ , tai yra gerokai mažesnė reikšmė, nei rekomenduoja gamintojas, todėl naudojamas  $680 \mu F$  talpos kondensatorius.

Šotki diodas bus lygiai toks pat kaip ir naudojamas U1 ir U3 maitinimo šaltiniuose.

U5 maitinimo šaltinis turi teikti vieną iš fiksuotų įtampų - 12V. Tai bus naudojamas LM2576-12V. Schemoje taip pat grįžtamojo ryšio linija bus prijungiami prie išėjimo kondensatoriaus ir induktyvinės ritės kontaktų sankirtos.Šiuo atveju grįžtamasis ryšys filtruos išėjimo signalą nuo nepageidaujamo signalo pokyčio. Šioje schemoje rezistoriai R1 ir R2 išimami.



**pav. 3** Gamintojo pateikta induktyvumo elemento pasirinkimo lentelė, LM2576-12.

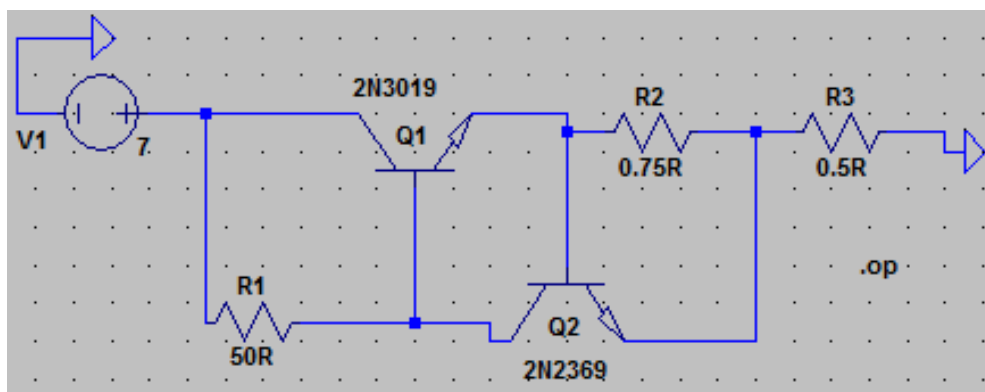
Reikiamos ritės pavadinimas H330, kurios nominalas yra  $L=330 \mu H$ .

$$\text{Išėjimo kondensatorius: } C_{OUT} = 680 \mu F$$

Maitinimo šaltiniui U4 naudojamas kitas įtampos reguliatorius LM1086. Jis pasirinktas dėl paprastos realizavimo schemos ir rekomendacijos naudoti būtent MV maitinimui. Gamintojų aprašyme pateikta principinė schema puikiai tinka kartu su ten parinktais elementų dydžiais.

### 3.2. Srovės ribotuvo tyrimas

Maitinimo šaltiniui U2 yra reikalingas srovės ribotuvas, kuris apribotų įtampą diapazone nuo 0.5A iki 1.1A. Buvo pasirinktas NPN tranzistorių srovės ribotuvo variantas. Jo principinė schema pavaizduota 5 paveikslėlyje. Modeliavimas buvo atliekamas su „LTspice“ programa.



**pav. 4** NPN tranzistorių srovės ribotuvas

Šioje schemoje buvo naudojami 2 skirtingi NPN tranzistoriai, kurių pirmojo 2N3019 pagrindiniai parametrai yra:

Kolekoriaus srovė ( $I_C$ ): 1 A, esantis 0.1 A ribos viršijimas įtakos simuliacijai neturi.

Srovės stiprinimo koeficientas ( $h_{FE}$ ): 300

Antrasis tranzistorius 2N2369 turi šiuos pagrindinius parametrus:

Kolekoriaus srovė ( $I_C$ ): 200 mA, antrasis tranzistorius pro save praleis gerokai mažesnę srovę, tai ir jo parametrai yra gerokai mažesni.

Srovės stiprinimo koeficientas ( $h_{FE}$ ): 120

Naudojant 1.1 formulę, galima nustatyti kokia srovė turi būti mažiausiai paduodama į tranzistoriaus bazę, kad jis pilnai atsidarytų.

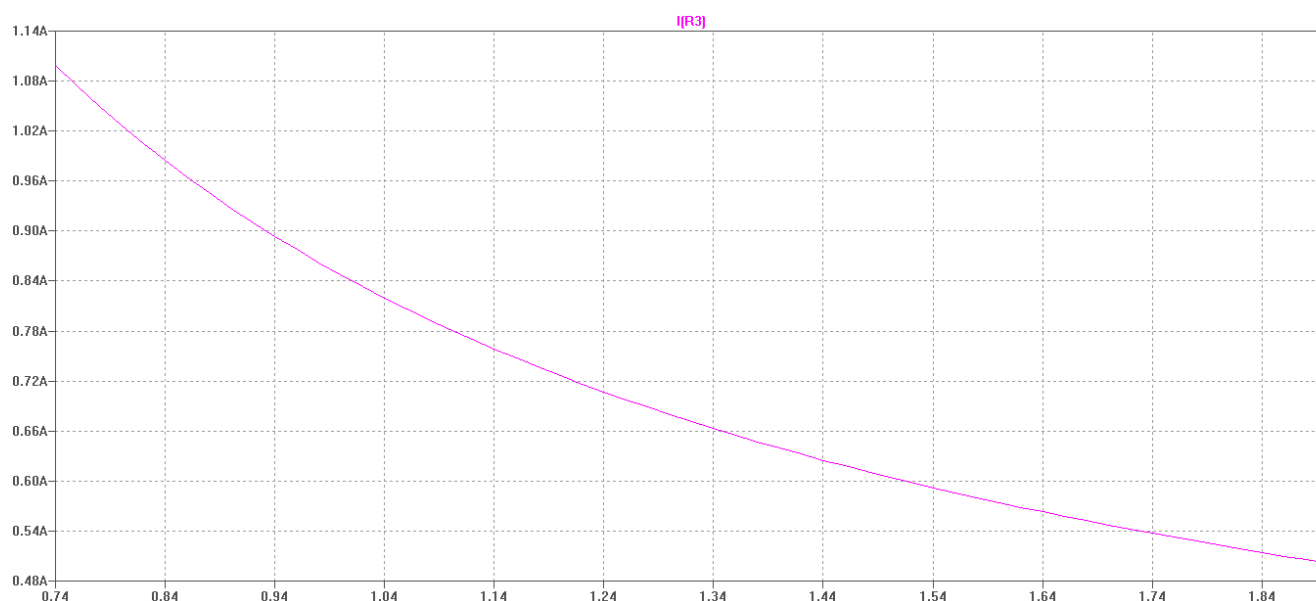
$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} \quad (1.4)$$

Tranzistoriui 2N3019 pilnai atsidaryti, į bazę reikia tiekti 3.33 mA. Pav. 3 schemoje pavaizduotas rezistorius R1 yra skirtas užtikrinti Q1 tranzistoriaus atidarymą. Pirmoje lentelėje matyti, kad R1 rezistoriaus srovė yra 94mA, todėl tranzistorius Q1 yra pilnai atsidaręs.

**Lentelė 1** Modeliavimo metu gauta rezultatų lentelė, prie  $R1=0.74\Omega$  varžos.

V (n001) :	7
Ic (Q2) :	0.0838607
Ib (Q2) :	0.00138671
Ie (Q2) :	-0.0852476
Ic (Q1) :	1.00444
Ib (Q1) :	0.0110225
Ie (Q1) :	-1.01547
I (R3) :	1.09933
I (R2) :	1.01408
I (R1) :	0.0948832

Prie Q1 emiterio nuosekliai prijungta varža R2, yra svarbi, nes jos dydis apsprendžia srovės ribojimą šioje schemoje. Taip yra todėl, nes per rezistorių R2 tekanti srovė yra taip pat ir Q2 bazės srovė, kuri atidarinėja tranzistorių. Atsidarius Q2 tranzistoriui, į Q1 bazę patenka mažiau srovės, nes didžioji jos dalis teka į Q2 kolektorių. R1 srovės nebeužtenka pilnam atsidarymui, todėl Q1 prisidaro, tuo pačiu sumažindama srovę tekančią per R2. Abu tranzistoriai užsidaro ir atsidaro, tol kol tarp jų nusistovi pusiausvyra Pav.6yra pateikta srovės priklausomybė nuo varžos R1, kuri kinta nuo  $0.74\Omega$  iki  $1.9\Omega$ , o srovė ribojama, reikiamame  $0.5A-1.1A$  diapazone.



**pav. 5** srovės priklausomybė nuo varžos

Žemiau pateiktoje antroje lentelėje yra duomenys kiek prateka srovės nepilnai prasidariusiuose tranzistoriuose. Q1  $I_B$  srovė yra mažesnė nei pirmai paskaičiuota reikalinga atsidarymui.

$$I_b(Q1) < I_B;$$

$$2 \text{ mA} < 3.3 \text{ mA};$$

**Lentelė 2** Modeliavimo metu gauta rezultatų lentelė, prie  $R1=1.90\Omega$  varžos.

V (n001) :	7
Ic (Q2) :	0.100153
Ib (Q2) :	0.00171508
Ie (Q2) :	-0.101868
Ic (Q1) :	0.398475
Ib (Q1) :	0.00286126
Ie (Q1) :	-0.401336
I (R3) :	0.501489
I (R2) :	0.399621
I (R1) :	0.103014

### 3.3. STM32F101RC MV charakteristikos

Tai „STMicroelectronics“ firmos STM32 šeimos 32-jų bitų RISC MV. Jis pagamintas remiantis ARM Cortex-M3 procesorių architektūra. MV pavadinimo simboliai „F101RC“ apibūdina charakteristikas, kurios yra būdingos būtent šiam modeliui. Gamintojo internetiniame puslapyje klasifikavimo lentelėje buvo išskirti šie 2 parametrai, „Flash“ atminties dydis ir korpuso tipas bei išvadų skaičius. Šiame projekte naudojamo MV korpuso tipas yra LQFP su 64-iais išvadais, bei turi 256 Kb *Flash* atminties. Kiti MV STM32F101RC parametrai:

**Lentelė 3**

Maksimalus taktinis dažnis	36 MHz	
Atmintis	SRAM	32Kb
	FLASH	256Kb
Laikmačiai	Bendros paskirties	4
	Pagrindiniai	2
Komunikacijos sąsajos	SPI	3
	I <sup>2</sup> C	2
	UART	5
51 bendros paskirties įėjimai/išėjimai (GPIO)		
12-bit AKK	16 kanalų	
12-bit KAK	2 kanalai	
Maitinimo įtampa	2V – 3.6V	

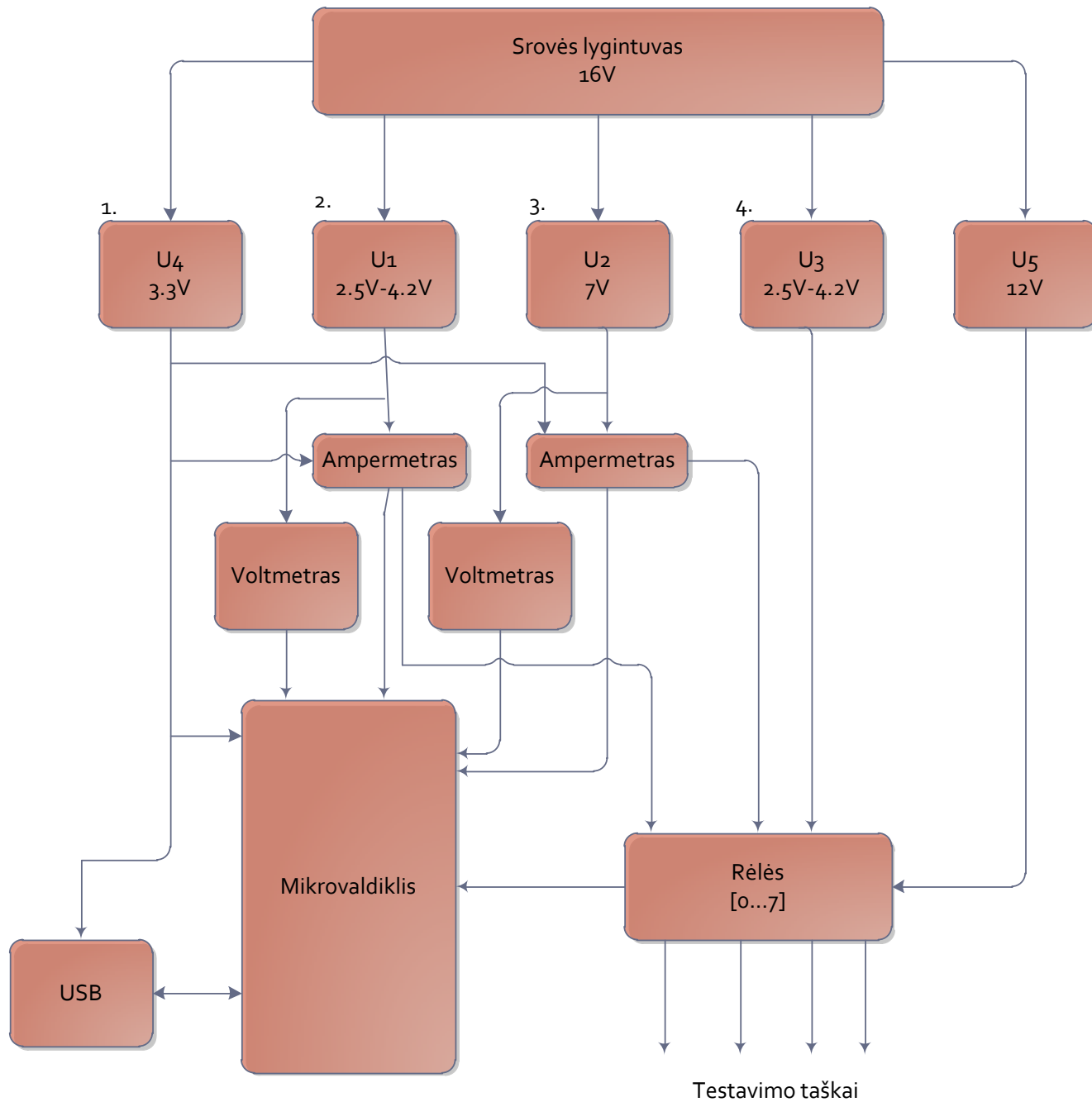
Šis MV buvo pasirinktas dėl jame esančio integruoto 12-bitų KAK, kuris turi 2 kanalus, ir tiek pat bitų turinčio AKK su 16 kanalų. Taip pat dėl komunikacijos kanalų, UART, SPI. Šio MV pranašumas taip pat yra tai, kad jam reikia mažos maitinimo įtampos.

### **3.4. Srovės matavimo grandinė**

Šiame projekte srovės matavimui naudojamas LMP8640 srovės matavimo stiprintuvas (angl. *current sense amplifier*). Tai „Texas instruments“ gaminys, kuris aptinka net ir mažą pokytį ant šunto varžos. Elemento korpusas priklauso SOT-23 (angl. *small outline transistor*) standartui ir turi 6 išvadus. Šio elemento maitinimo įtampos diapazonas nuo 2.7 V iki 12V. LMP8640 bendrame režime priima signalą nuo -2V iki 42V. Projekte jis buvo pasirinktas dėl mažų matavimo paklaidų kurie daugiausiai gali siekti 0.25%, taip pat šį elementą galima maitinti jau su turimu 3.3V (U4) maitinimo šaltiniu.

## 4. PROJEKTINĖ DALIS

Testavimo stendo struktūrinė schema pavaizduota pav. 7.



pav. 6 Struktūrinė schema

Siejant šią struktūrinę schemą su žemiau esančiomis schemomis (pav. 7, pav.8, pav. 9, pav. 10), tai pirmoji schema (pav.7) atvaizduoja mikroprocesoriaus ryšį su visais kitais prie jo prijungtais elementais ir yra pagrindinė schema.

Visi MV elementai buvo jungiami pagal gamintojo pateikiamas rekomendacijas.

MV (U1) maitinimas prijungtas prie 6 kondensatorių, kurie yra susijungę tarpusavyje. Tai yra reikalinga dėl dviejų priežasčių. Pirmoji, kad jie filtruoja maitinimo įtampos svyravimus ir antra, jie veikia kaip elektrinio krūvio talpyklos, iš kurių yra kompensuojamas staigus srovės poreikis. Šiuos kondensatorius yra rekomenduojama statyti kuo arčiau MV.

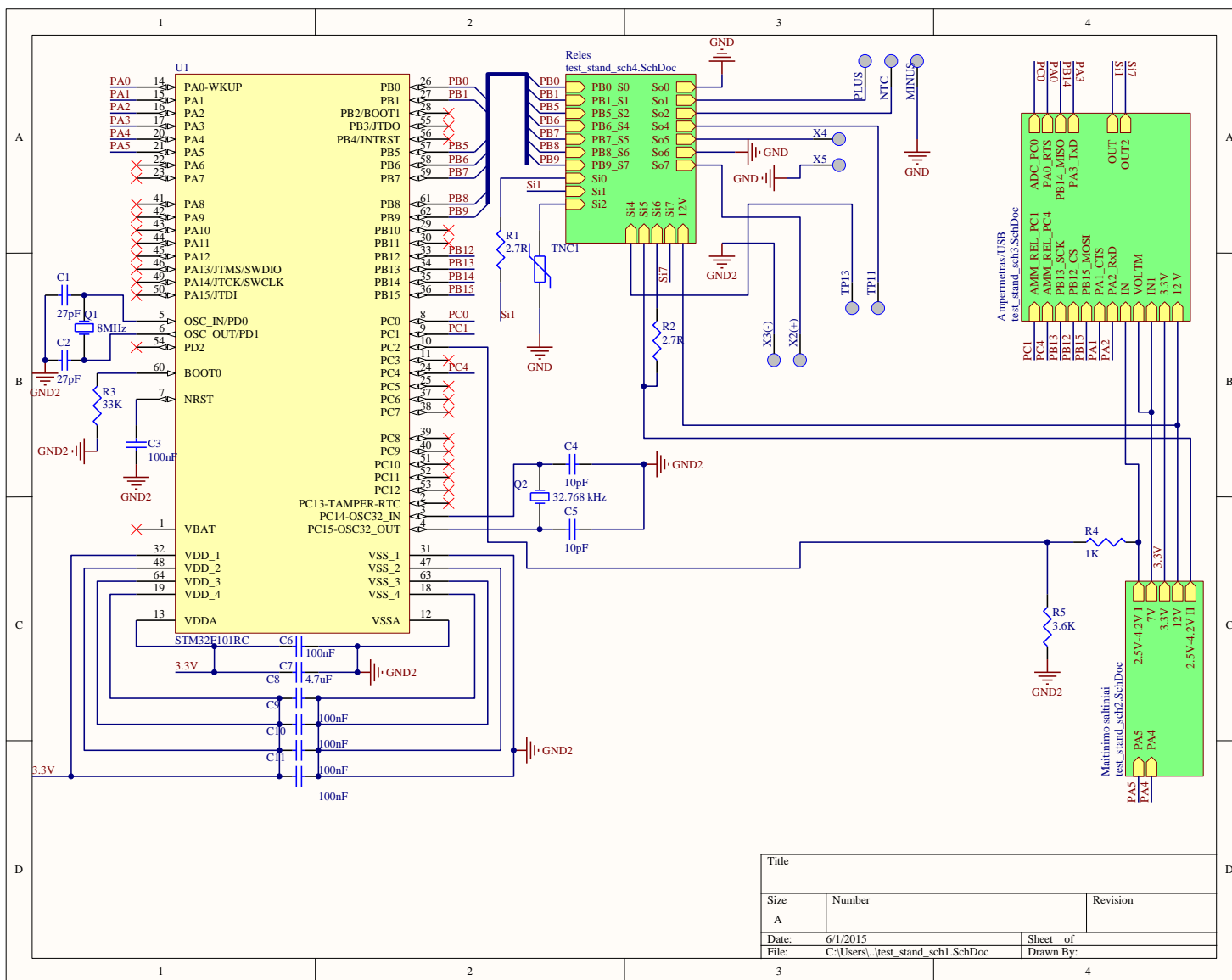
MV NRST išvadas prijungtas prie žemės per kondensatorių užtikriną, MV įsijungus visų, reikšmių nustatymą ir jų neapibrėžtumo pašalinimą.

MV BOOT0 prijungtas pagal gamintojo rekomendaciją ir šitaip prijungtas, jis MV nurodo kad bus naudojama pagrindinė „Flash“ atmintis.

Prie MV prijungiami 2 kvarciniai rezonatoriai 8 MHz ir 32.768 kHz. Pirmasis yra reikalingas visų prie MV prijungtų grandinių darbo sinchronizavimui. Antrasis reikalingas RTC realizavimui.

Kiti elementai šiame schemos lape atvaizduoja visos sistemos tarpusavio ryšį. Kiekvienas jų turi pavadinimą:

- Schemos dešiniajame apatiniame krašte yra blokas pavadinimu „Maitinimo šaltiniai“. Po juo esantis užrašas tai schemos lapo pavadinimas su kuriuo šis blokas yra sinchronizuojamas. Blokas turi 2 įvadus ir 5 išvadus. Prie išvado „2.5-4.2VI“ taip pat prijungtas varžinis daliklis įtampą dalinantis iš 0.8 karto, kad šio išvado maksimali įtampa neviršytų MV atraminės įtampos. Vidinis MV AKK pakeičia analoginį signalą į skaitmeninį ir taip yra nuskaitoma matuojama reikšmė.
- Aukščiau esantis blokas „Ampermetras/USB“ taip pat rodo ryšį su MV.
- Blokui „Relės“ iš MV yra reikalingi GPIO išvadai, kuriais būtų tiekiamas tik aukštas arba žemas signalo lygis, relių atidarymui. Tai yra labiausiai susijęs blokas su testuojama schema, kadangi išvadai iš šio bloko yra tiesiogiai atsakingi už testavimo eigą.

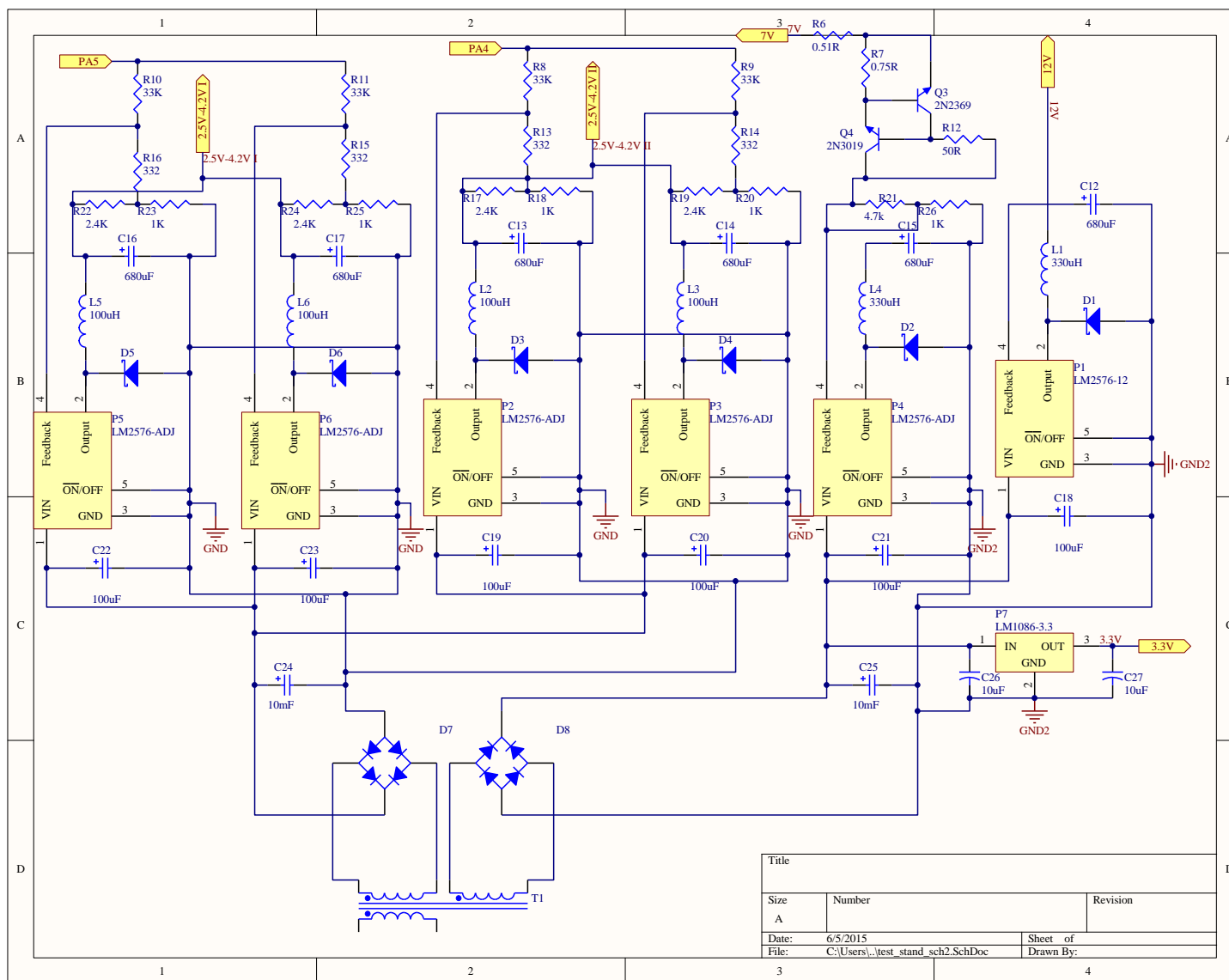


pav. 7 Testavimo stendo1 principinė schema

Pav. 8 pavaizduotos visų maitinimo šaltinių schemos, naudojamos projekte.

Transformatoriaus (T1) įėjime paduodama įtampa iš elektros tinklo ir ji išskirstoma į du kanalus. Tilteliai (D1, D2) neigiamas kintamos srovės vertes pakeičia į teigiamas ir kondensatorių (C11, C12) pagalba įtampa galutinai išlyginama ir pakeičiama į nuolatinę 16V ir 10 A išėjimą (OUT1 ir OUT2). Prie pirmojo išėjimo prijungti U1 ir U3, o prie antrojo U2, U4, U5. Maitinimo šaltinių elementų pasirinkimai paaiškinti 3.1 skyriuje.

U1 ir U3 yra reguliuojami maitinimo šaltiniai, kurių įtampa kinta nuo 2.5V iki 4.2V. Jų kitimą reguliuoja grįžtamojo ryšio išvadas, prijungtas prie varžinio daliklio, esančio maitinimo šaltinio išėjime ir prie MV KAK išvado. Šiuo atveju U1 maitinimo šaltiniui tai būtų PA5 išvadas, o U3 – PA4. MV paduodamas tam tikrą reikiamą lygį per KAK reguliuoja kokio dydžio įtampa bus tiekama spausdintinės plokštės testavimui.

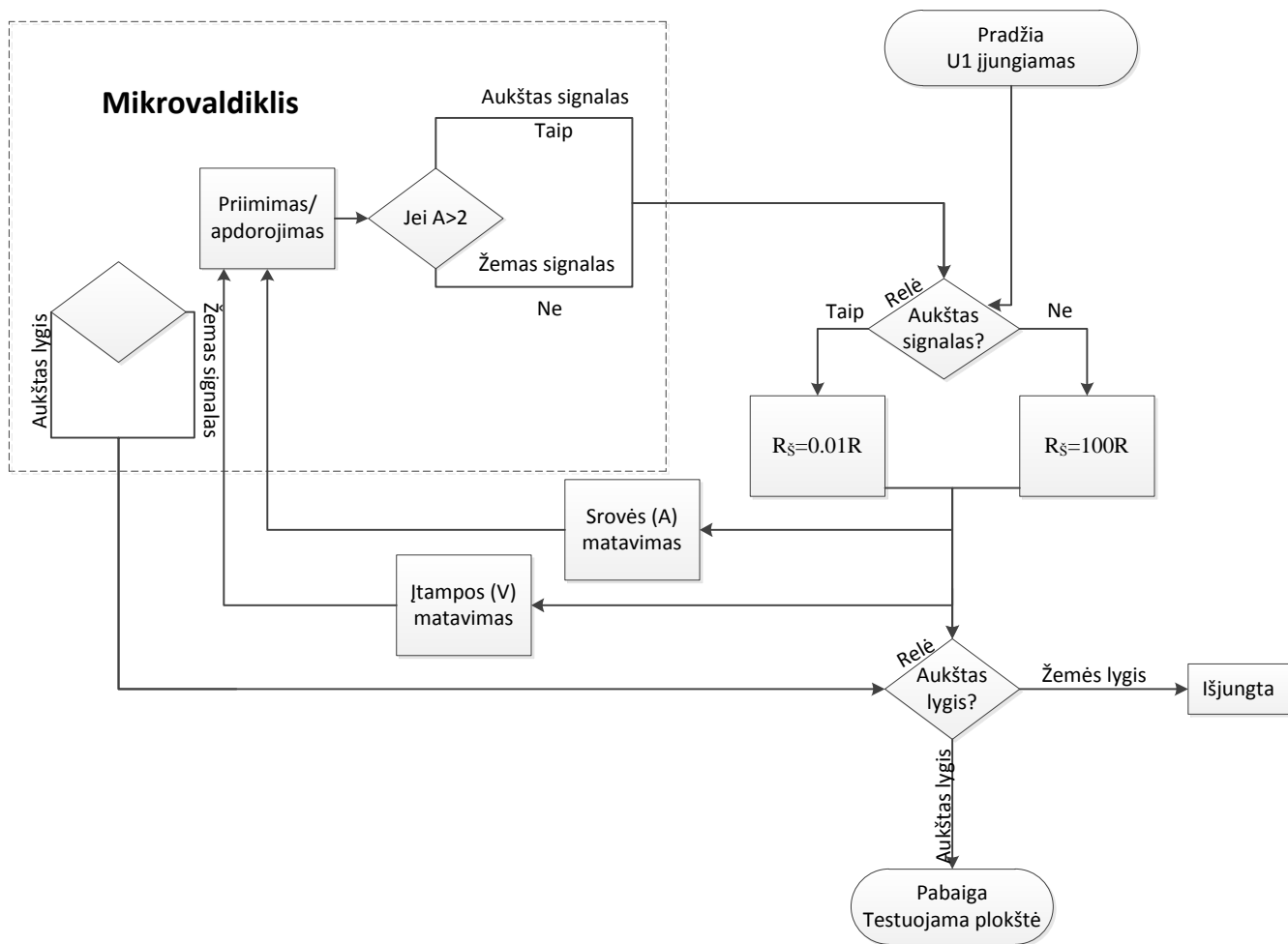


**pav. 8** Testavimo stendo 2 principinė schema

„Ampermetras/USB“ bloko schemoje yra 2 srovės šunto stiprintuvai (LMP8640), kurie turi po 2 skirtingas šunto varžas ( $R_{31}=100R$ ,  $R_{32}=0.01R$ ). SPDT relė (D9) perjungia šiuos šuntus priklausomai nuo tekančios srovės dydžio. Pav. 9 esantis veikimo algoritmas yra sudarytas iš schemos pav. 10. Čia parodyta, kad pradžia tai maitinimo šaltinis, kuris nepertrūkstamai tiekia elektros srovę į relę ir nepriklausomai nuo atsiunčiamo signalo iš MV, teka į sekančią relę algoritmo pabaigoje, o tada atėjęs signalas iš MV nurodo ar įtampa pratekės į testuojamą plokštę.

Antrojo ampermetro nuskaitymui naudojamas išorinis AKK (ADC122S021). Šis AKK su dviejų įėjimo kanalais, kurių pirmas panaudotas srovės matavimui, o antras įtampos matavimui. AKK atraminė įtampa yra lygiai tokia pati kaip MV, tačiau matuojama įtampa gali pakilti iki 7V, todėl čia naudojamas varžinis daliklis, dalinantis matuojamą įtampą 2.12 karto. Šis AKK yra galvaniskai izoliuotas naudojant elementą ADuM1401, kuris su MV komunikuoja SPI sąsaja.

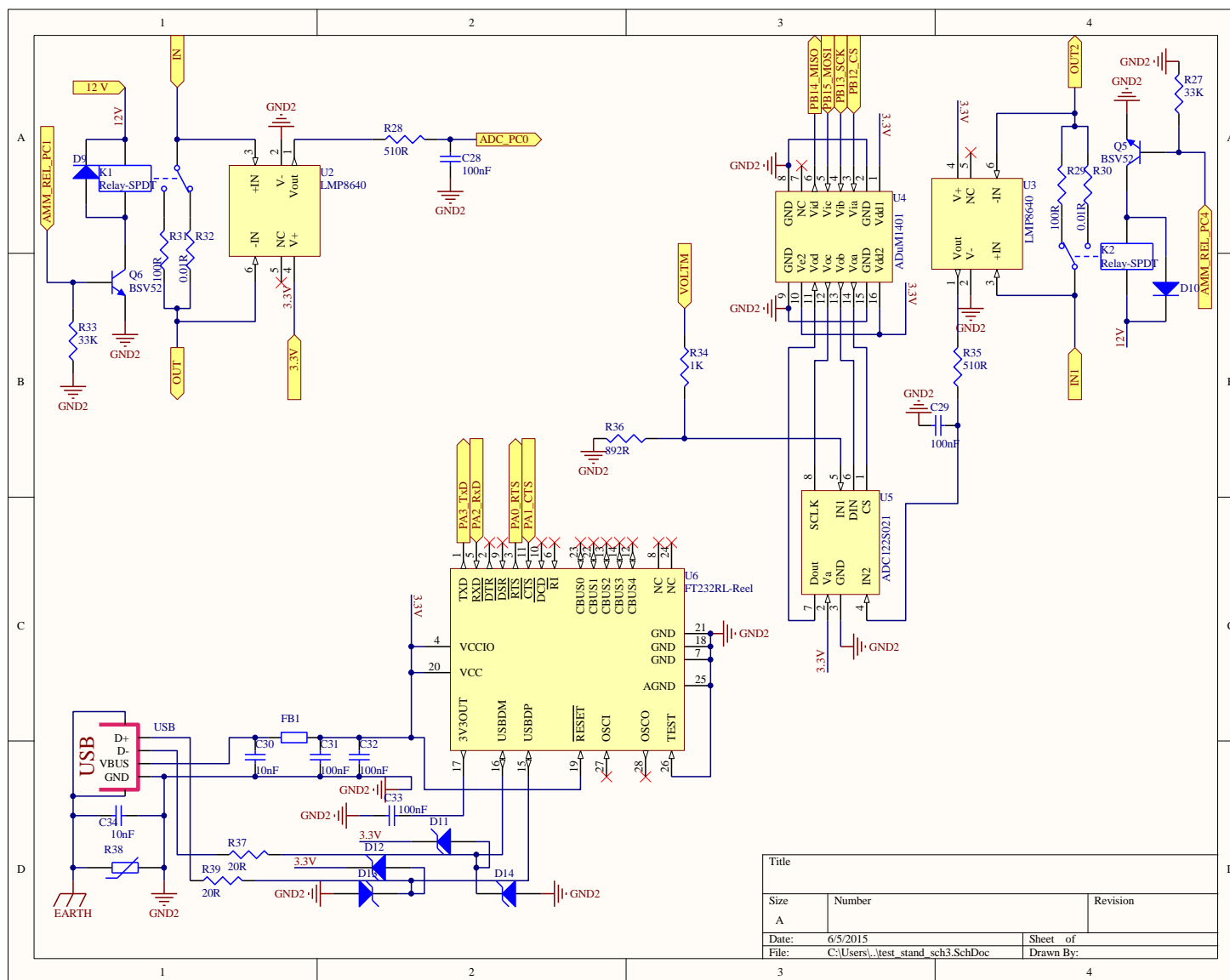
USB komunikacijai naudojamas FT232RL elementas, jis maitinamas 3.3 V įtampa ir su MV komunikuoja UART sąsaja.



**pav. 9** Veikimo algoritmas

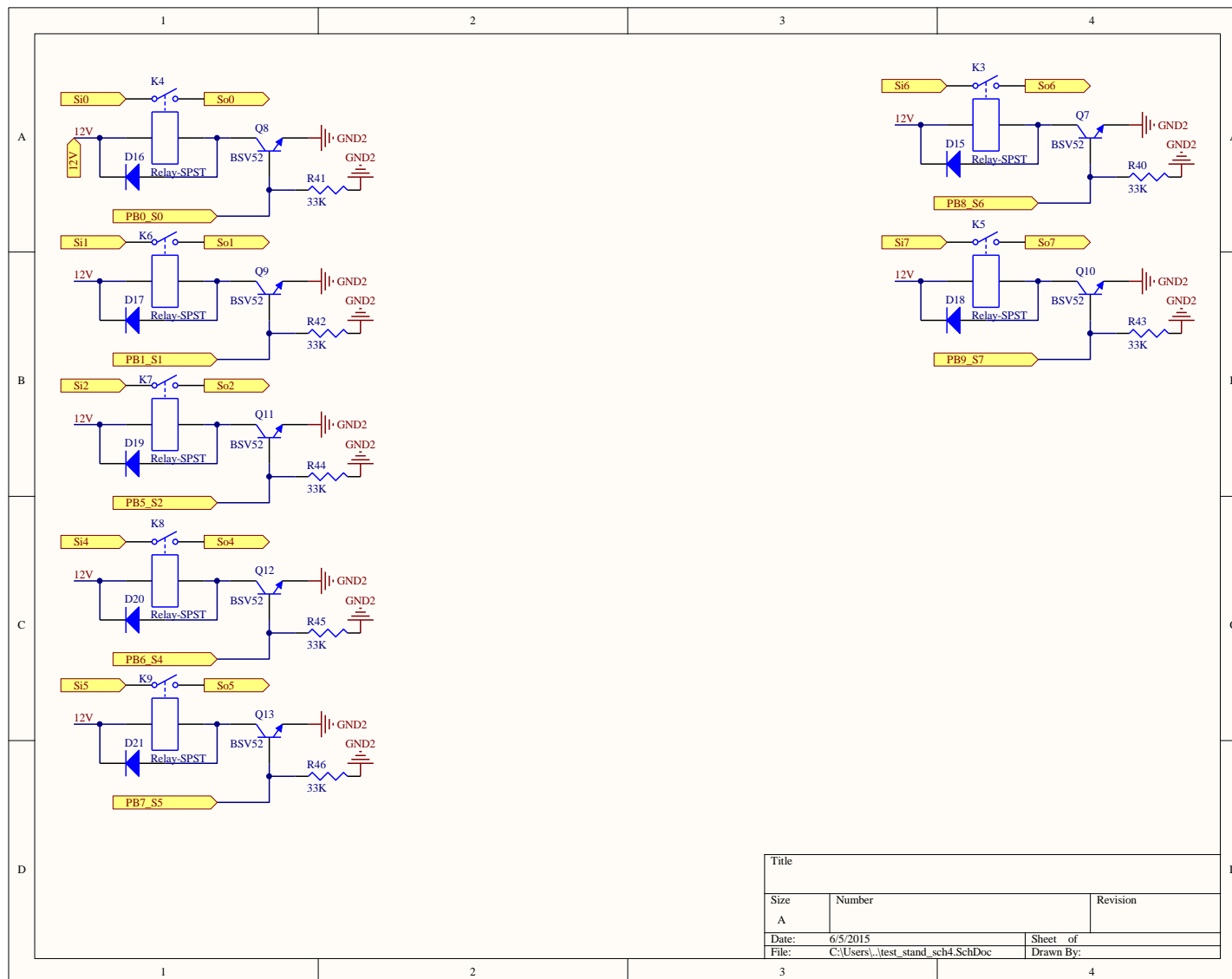
„Relės“ bloko schemoje(), kiekviena relė yra valdoma MV bendros paskirties išvadais. Ar relės atsidarys priklausys nuo programos įkeltos į MV, kuri padaryta pagal gamintojo testavimo nurodymus. Visos relės yra SPST tipo.

Pav 12 yra pateikta visų šių schemų viena bendra sutrasuota PCB. Trasuota buvo dviem sluoksniais iš kurių viršutinis buvo užliejamas žeme (GND2). Visi elementai buvo montuojami viršutiniame sluoksnyje. Schemos dydis: 33.6 x 17.6 (cm).

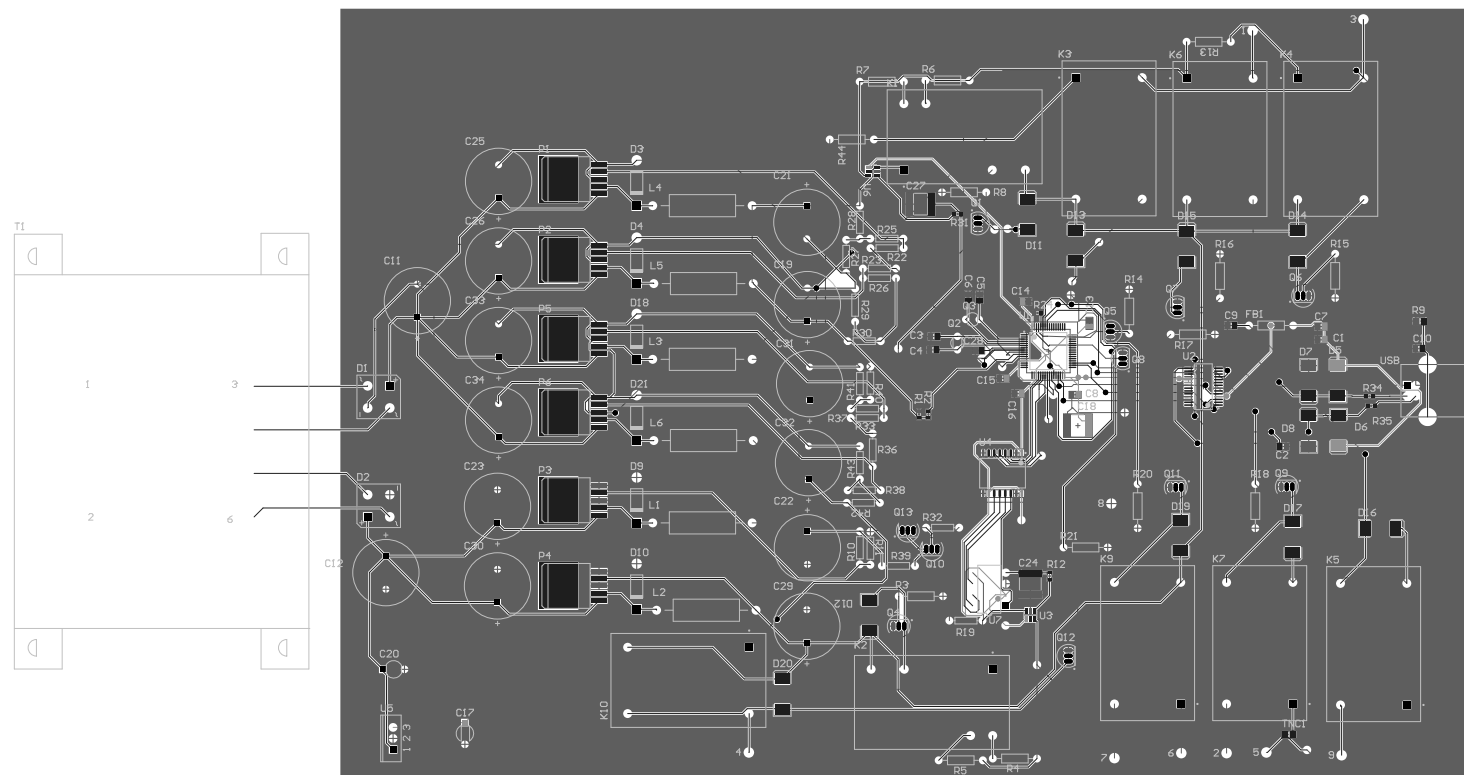


Title		
Size	Number	Revision
A		
Date:	6/5/2015	Sheet of
File:	C:\Users\...test_stand_sch3.SchDoc	Drawn By:

pav. 10 Testavimo stendo 3 principinė schema



**pav. 11** testavimo stendo 4 principinė schema



**pav. 12** Testavimo stendo PCB

## IŠVADOS

1. Išanalizavus įtampos ir srovės matavimo variantus buvo priimtas sprendimas naudoti srovės šunto stiprintuvą srovės matavimui su diapazono keitikliu mažai ir didelei srovei matuoti. Kadangi grandinėje esančios įtampos buvo artimos mikrovaldiklio atraminei įtampai, todėl įtampos matavimui buvo naudojamas daliklis mažinantis matuojamą įtampą per pusę.
2. Ištyrus pagrindinius komponentus buvo išanalizuoti projektui reikšmingiausi parametrai, parinkti ir apskaičiuoti elementai, kurių dėka užtikrinamas stabilus darbas. Atliktas srovės ribotuvo schemos modeliavimas ir pavaizduota srovės priklausomybė nuo varžos.
3. Suprojektuota testavimo stendo principinė schema ir PCB plokštė su įtampos lygintuvu ir maitinimo šaltiniais. Su projektavimo paketu „Altium designer“ sugeneruota elementų lentelė (1 Priedas), kurioje nurodyti visi elementų tipai ir kainos.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. MV STM32F101RC duomenų lapai: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00191174.pdf>
2. Duomenys apie šuntą ir srovės matavimą: [http://en.wikipedia.org/wiki/Shunt\\_\(electrical\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Shunt_(electrical))
3. LM2576 srovės reguliatoriaus duomenų lapai: <http://www.farnell.com/datasheets/1849802.pdf>
4. Tranzistoriaus 2N3019 duomenų lapas: [http://www.onsemi.com/pub\\_link/Collateral/2N3019-D.PDF](http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/2N3019-D.PDF)
5. LM1086 duomenų lapai: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1086.pdf>
6. LMP8640 duomenų lapai: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmp8640hv.pdf>
7. Srovės fiksavimo stiprintuvai: [http://en.wikipedia.org/wiki/Current\\_sense\\_amplifier](http://en.wikipedia.org/wiki/Current_sense_amplifier)
8. AKK ADC122 duomenų lapai: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/adc122s021.pdf>
9. ADuM1401 duomenų lapai: [http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/ADuM1400\\_1401\\_1402.pdf](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/ADuM1400_1401_1402.pdf)
10. NPN BSV52 tranzistoriaus duomenų lapai: <http://www.farnell.com/datasheets/668442.pdf>
11. Relės G5Q duomenų lapai: <http://www.farnell.com/datasheets/1792647.pdf>
12. FT232 duomenų lapai: [http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS\\_FT232R.pdf](http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf)
13. 2N3019 Duomenų lapai: [http://www.onsemi.com/pub\\_link/Collateral/2N3019-D.PDF](http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/2N3019-D.PDF)
14. 2N2369 duomenų lapai: <http://www.ha7wen.hu/nre/2N2369.pdf>
15. Srovės ribojimas: [http://en.wikipedia.org/wiki/Current\\_limiting](http://en.wikipedia.org/wiki/Current_limiting)
16. Srovės ir įtampos matavimas: [http://en.wikipedia.org/wiki/Current\\_limiting](http://en.wikipedia.org/wiki/Current_limiting)
17. Srovės matavimas: <http://www.ni.com/tutorial/7114/en/>

## 1 Priedas: elementų lentelė

Designator	Quantity	Supplier 1	Supplier Part Number 1	Supplier Unit Price 1	Supplier Currency 1
C1, C2	2	Farnell	2310688	0.02	EUR
C3, C6, C8, C9, C10, C11, C28, C29, C31, C32, C33	11	Farnell	8031976	0.42	EUR
C4, C5	2	Farnell	1759191	0.042	EUR
C7	1	Farnell	2346936	0.176	EUR
C12, C13, C14, C15, C16, C17	6	Farnell	1800635	1.04	EUR
C18, C19, C20, C21, C22, C23	6	Farnell	1304284, 1834185	1.194	EUR
C24, C25	2	Farnell	8766754	0.51	EUR
C26, C27	2	Farnell	1247106	0.316	EUR
C30	1	Farnell	2310705	0.005	EUR
C34	1	Farnell	2310705	0.005	EUR
D1, D2, D3, D4, D5, D6	6	Farnell	1467532	2.64	EUR
D7, D8	2	Farnell	1651040	8.56	EUR
D9, D10, D15, D16, D17, D18, D19, D20, D21	9	Farnell	2440975	0.086	EUR
D11, D12, D13, D14	4	Farnell	1150348	2.07	EUR
FB1	1	Farnell	1800367RL	0.81	EUR
K1, K2	2	Farnell	2076392	10.44	EUR
K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9	7	Farnell	4446471	8.83	EUR
L1, L4	2	Farnell	2211689	4.42	EUR
L2, L3, L5, L6	4	Farnell	1185357	14.72	EUR
P1	1	Farnell	2115115	21.21	EUR
P2, P3, P4, P5, P6	5	Farnell	1460664	11.07	EUR
P7	1	Farnell	9489959	6.78	EUR
Q1, Q2	2	Farnell	1666997, 9712887	0.85	EUR
Q3	1	Farnell	9206850	2.59	EUR
Q4	1	Farnell	1611571	2.34	EUR
Q5, Q6, Q7, Q8, Q9, Q10, Q11, Q12, Q13	9	Farnell	1081314RL	0.5	EUR
R1, R2	2	Farnell	1701882	0.3	EUR
R3, R8, R9, R10, R11, R27, R33, R40, R41, R42, R43, R44, R45, R46	14	Farnell	2323901	0.92	EUR
R4, R18, R20, R23, R25, R26, R34	7	Farnell	2324006RL	0.77	EUR
R5, R36	2	Farnell	1670235	0.27	EUR
R6	1	Farnell	1838683	0.56	EUR
R7	1	Farnell	1838688	0.6	EUR
R12	1	Farnell	2312596	0.191	EUR
R13, R14, R15, R16	4	Farnell	2324006	0.77	EUR

R17, R19, R22, R24	4	Farnell	2380723	0.568	EUR
R21	1	Farnell	2380762	0.142	EUR
R28, R35	2	Farnell	2057695	0.05	EUR
R29, R31	2	Farnell	2333586RL	0.1	EUR
R30, R32	2	Farnell	2420515	5.71	EUR
R37, R39	2	Farnell	2323827RL	0.32	EUR
R38	1	Farnell	1383763	15.42	EUR
T1	1	Farnell	9532811	142.54	EUR
TNC1	1	Farnell	1187031	1.61	EUR
U1	1	Farnell	1624126	19.95	EUR
U2, U3	2	Farnell	1859823	5.32	EUR
U4	1	Farnell	1226220	16.74	EUR
U5	1	Farnell	1007994	6.82	EUR
U6	1	Farnell	1146032	18.42	EUR
USB	1	Farnell	1177883	2.93	EUR
<b>Iš viso:</b>				342.67	EUR