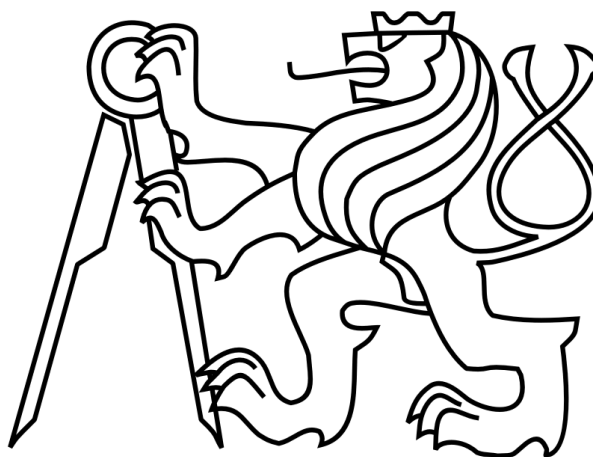


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

katedra mikroelektroniky



Diplomová práce

**Výrobní a funkční specifický test univerzální zkušební
platformy pro napájení mikrokontroléru**

Autor: Bc. Jiří Vávra

Obor: Elektronika

Vedoucí práce: prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.

2018

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou prací zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a konzultantů a používal jsem pouze literaturu uvedenou na konci práce. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Praze dne 25. 5. 2018

.....

Podpis diplomanta

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vávra** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **406125**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**
Studijní program: **Elektronika a komunikace**
Studijní obor: **Elektronika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Výrobní a funkční specifický test univerzální zkušební platformy pro napájení mikrokontroléru

Název diplomové práce anglicky:

Carmaker and functional specific test of microcontroller power supply universal testing platform

Pokyny pro vypracování:

1. Proveďte rozbor stávajícího stavu řešení univerzálních výrobních a funkčně specifických testů pro napájení mikrokontroléru, v přehledu technologii se zaměřte na výhody a nevýhody, pro další řešení vyberte vhodnou architekturu pro realizaci s mikrokontrolérem řady SPC57/58.
2. Navrhněte a realizujte univerzální výrobní a funkčně specifické testy možnosti napájení mikrokontroléru v automobilovém průmyslu. Pro návrh uvažujte mikrokontrolér řady SPC57/58 s L9001 jako SMPS jednoduchým napájecím zdrojem. Před vlastním návrhem definujte požadavky na aplikaci, vezměte v úvahu možné aplikační scénáře a testované závady. Při návrhu respektujte příslušné normy pro specifikaci zkoušek pro automobilový průmysl (ISO16750, LV124, IEC61967).
3. Pro podporu návrhu vypracujte příslušný testovací SW, proveďte realizaci a analýzu testů.
4. Proveďte úvahu o vhodnosti Vašeho návrhu z hlediska komerčního využití, proveďte jednoduchý ekonomický rozbor s úvahou pro výrobu navrženého systému.

Seznam doporučené literatury:

1. Neumann, P., Uhlíř, J.: Elektronické obvody a funkční bloky (I, II), ČVUT 2001
2. ST L9001 Reference manual, ST SPC58NN84R7 Reference manual
3. Katalogové listy STMicroelectronics, www.st.com

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

prof. Ing. Miroslav Husák, CSc., katedra mikroelektroniky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **12.02.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **25.05.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2019**

prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Řípka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá měřením univerzální testovací desky s napájecím zdrojem L9001 a připojenými mikrokontroléry řady SPC58xx od firmy STMicroelectronics využívaných v automobilovém průmyslu. Práce zahrnuje problematiku měření desky a sadu měřicích testů s výsledky. Dále obsahuje popis zdrojové kódu k ovládání mikrokontroléru.

Klíčová slova: Automobilový průmysl, mikrokontrolér, napájecí zdroj, test.

Abstract

This Master thesis deals with the measurement of a universal testing board with L9001 power supply and with connected microcontrollers of series SPC58xx from STMicroelectronics used in the automotive industry. The thesis includes the measurement of boards and a set of measurement tests with the consequent results. It also contains a description of the source code for the manipulation of the microcontroller.

Key words: Automotive microcontroller, power supply, test.



Poděkování

Děkuji vedoucímu práce, prof. Ing. Miroslavu Husákovi, CSc., za pomoc při vedení diplomové práce a konzultantům Ing. Leošovi Longauerovi a Ing. Jiřímu Rybovi Ph.D. za pomoc s návrhem plošného spoje, programováním a testováním mikrokontroléru.





Obsah

Seznam tabulek.....	13
Seznam obrázků.....	14
Seznam symbolů.....	15
Seznam zkratek.....	15
ÚVOD.....	17
1 TESTOVÁNÍ.....	18
1.1 Testy.....	18
1.2 Druhy testů.....	20
1.3 Kategorie Testů.....	24
1.3.1 TESTOVÁNÍ SKŘÍNĚK.....	25
1.3.2 AUTOMATICKÉ A MANUÁLNÍ TESTOVÁNÍ.....	27
1.3.3 STATICKÉ TESTOVÁNÍ.....	30
1.3.4 DYNAMICKÉ TESTOVÁNÍ.....	30
2 ISO STANDARDS.....	31
2.1 Popis standardů.....	31
2.2 Standardy v automobilovém průmyslu.....	31
PRAKTICKÁ ČÁST.....	33
3 NÁVRH MĚŘENÍ.....	33
4 TVORBA TESTŮ A VÝSLEDKY.....	36
5 TESTOVACÍ SOFTWARE.....	43
6 KOMERČNÍ VYUŽITÍ, EKONOMICKÝ ROZBOR.....	47
ZÁVĚR.....	48
LITERATURA.....	49
PŘÍLOHY.....	51

Seznam tabulek

Tab. 1 Módy μ C.....	34
Tab. 2 Seznam testů.....	38
Tab. 3 Napěťové varianty.....	51
Tab. 4 Měřicí kolíky.....	51
Tab. 5 Měřicí spojky.....	52
Tab. 6 Seznam přístrojů.....	53
Tab. 7 Varianty zapojení 1-6.....	54
Tab. 8 Varianty zapojení 7-11.....	55
Tab. 9 Dlouhodobé přepětí.....	56
Tab. 10 Dlouhodobé přepětí po 20 min.....	57
Tab. 11 Dlouhodobé přepětí po 40 min.....	57
Tab. 12 Dlouhodobé přepětí po 60 min.....	58
Tab. 13 Přechodné přepětí.....	59
Tab. 14 Přechodné podpětí.....	60
Tab. 15 Rychlý start.....	61
Tab. 16 Pomalý pokles a vzestup napájecího napětí.....	62
Tab. 17 Rychlý vzestup napájecího napětí.....	64
Tab. 18 Resetovací vlastnosti.....	65



Tab. 19 Změna potenciálů kostry.....	66
Tab. 20 Změna potenciálů kostry měření.....	67
Tab. 21 Přerušení kolíků a konektorů	68
Tab. 22 Seznam spojek a konektorů	68
Tab. 23 Přerušení kolíků a konektorů měření	68
Tab. 24 Měření jednotlivých pinů.....	69
Tab. 25 Výsledky měření jednotlivých pinů	69
Tab. 26 Záměna pólů	70
Tab. 27 Záměna pólů výsledky	70
Tab. 28 Zkouška napájecího napětí.....	70
Tab. 29 Zkouška napájecího napětí varianty 1-6	70
Tab. 30 Zkouška napájecího napětí varianty 7-11	71

Seznam obrázků

Obr. 1 Vyhodnocení testu (převzato z [4])	20
Obr. 2 Skříňky (převzato z [1])	25
Obr. 3 Černá skříňka (převzato z [1])	26
Obr. 4 Ballast (převzato z [20])	33
Obr. 5 Arduino klávesnice	35
Obr. 6 Vzorový test.....	36
Obr. 7 Schéma zapojení	38
Obr. 8 Seznam periférií (převzato z [21]).....	44
Obr. 9 Pracovní módy (převzato z [21])	45
Obr. 10 Přepínací diagram	45
Obr. 11 Zkušební impuls přechodné přepětí (převzato z [23]).....	59
Obr. 12 Přechodné přepětí měření	60
Obr. 13 Zkušební impuls přechodné podpětí (převzato z [23])	60
Obr. 14 Přechodné podpětí měření.....	61
Obr. 15 Zkušební impuls rychlý start (převzato z [23])	62
Obr. 16 Rychlý start měření.....	62
Obr. 17 Zkušební impuls pomalý pokles a vzestup napájecího napětí (převzato z [23])	63
Obr. 18 Pokles a vzestup měření	63
Obr. 19 Zkušební impuls rychlý vzestup napájecího napětí (převzato z [23])	64
Obr. 20 Rychlý vzestup měření	65
Obr. 21 Zkušební impuls resetovací vlastnosti (převzato z [23])	66
Obr. 22 Resetovací vlastnosti měření.....	66
Obr. 23 Schematické zapojení výkyv kostry (převzato z [23])	67



Seznam symbolů

CP	(F)	kapacita kondenzátoru
I	(A)	proud
J		kolík
T	(°C)	teplota
t_f	(s)	čas
$t_{Prüf}$		čas
t_r		čas
t_{vor}		čas
t_1	(s)	čas
t_2		čas
t_3		čas
U	(V)	napětí
U_b	(V)	napětí
U_{Bmax}		napětí
U_{max}		napětí
U_{min}		napětí
U_1	(V)	napětí
U_2		napětí

Seznam zkratek

ADC	analog-digital převodník
CAN	CANON konektor
CAN L	CAN L signál
CAN H	CAN H signál
FAT	factory acceptance test
FB	feedback
FLASH	paměť flash
GND	elektrická zem
HW	hardware
IEC	mezinárodní elektrotechnická komise
IRC	vnitřní oscilátor
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci



JP	spojka
LDO	lineární regulátor napětí
LPM	low power mode
LR	alkalické vedení
MVREG	vnitřní napěťový regulátor na 1.25 V
PDO	výstupní piny
PLL0	primární frekvenční modulátor
PLL1	sekundární frekvenční modulátor
RESN	resetovací signál
RSTN1	reset výstupu 1
RSTN2	reset výstupu 1
SIT	system integration test
SPC	plošný spoj mikrokontroléru STMicroelectronics
SR	stříbrné vedení
STBY	standby signál
STBY HW	standby ruční nastavení
SW	software
TWN	teplotní signál
UAT	user acceptance test
USB	univerzální sériová sběrnice
VADC	výstupní napětí výstupu ADC
VBAT	napájecí napětí
VDD1	výstupní napětí výstupu 1
VDD2	výstupní napětí výstupu 2
VR1	zpětná vazba 1
VR2	zpětná vazba 2
VS	napájecí napětí
VW	Volkswagen
WD	watchdog
WDI	watchdog input signál
WDO	watchdog output signál
WDT	watchdog signál
XOSC	externí oscilátor
μC	mikrokontrolér



ÚVOD

Při výrobě jakékoliv nové součástky je potřeba jí pořádně otestovat. Od základních testů, přes fyzikální a zátěžové, až po složité a kombinované testy. Je také velice důležité otestovat její krajní možnosti i negativní scénáře. To samé platí i pro každý nově navržený plošný spoj. Pokud se jedná o součástky a plošné spoje, které se mají užívat v automobilovém průmyslu, jsou tyto testy velice důležité pro správnou funkci vozidel a hlavně bezpečnost. Při špatném otestování a neodhalení chyb může dojít k poškození vozidla, v horší variantě ke zranění osob či úmrtí.

Cílem této práce je otestování univerzální testovací desky s napájecím zdrojem L9001 a připojeným mikrokontrolérem řady SPC58xx (Chorus 2 M) od firmy STMicroelectronics využívaných v automobilovém průmyslu. Testovací desku se zdrojem navrhl a vyrobil kolega Filip Čermák v jiné diplomové práci úzce související s touto prací.

Tato diplomová práce obsahuje problematiku testování, popis ISO standardu pro testování v automobilovém průmyslu. V další části je popsána sada měřicích testů a samotné měření desky s výsledky. V závěru práce je popis zdrojového kódu k ovládní mikrokontroléru pomocí klávesnice a nastavení jednotlivých energetických módů.



1 TESTOVÁNÍ

Testování je technický výzkum kvality testovaného produktu nebo služby za účelem poskytnutí těchto informací všem zainteresovaným. Jde o hledání určitých informací o produktu jeho zkoumáním. Testování je součástí vývoje ať softwaru tak hardwaru, které probíhá během všech výrobních a vývojových částí. [1][2][3]

Vývoj SW a HW se stále zrychluje, požadavky na kvalitu jsou stále vyšší, než tomu bylo před lety, proto tak testování nabývá stále na větším významu. Cílem testování obvykle bývá ověřit, že produkt dělá přesně to, co je uvedeno ve specifikaci. Ověřujeme, jak je schopen se vyrovnat s nestandardními stavy, jak reaguje na chybu uživatele nebo chybu v datech, selhání SW nebo HW komponenty, atd. [1][2][4]

1.1 Testy

Při testování se celý proces může rozdělit do čtyř částí:

- Příprava na testování – v této fázi vznikají obvykle tyto dokumenty: testovací plán, testovací scénáře a testovací případy.
- Provedení testů – v souladu s testovacím plánem pak probíhají vlastní testy podle testovacích scénářů.
- Vyhodnocení testů – pokud by se vyhodnocování neprovádělo, tak by testování v podstatě nemělo smysl.
- Rozhodnutí o dalším postupu – zopakování některých testů apod.

[2][5][8]



V rámci testování lze identifikovat tyto role:

- Test designer – zodpovědný za přípravu testů, vytváří testovací scénáře, logické a fyzické testovací případy a rozhoduje o tom, jaká budou testovací data.
- Test manažer – zodpovědný za plánování, organizování, koordinování a reportování stavu testování.
- Test exekutor – zodpovědný za vlastní provedení testů, dokumentuje výsledky testů, kontroluje logy a hlásí defekty.
- Defekt solver – nejčastěji to bývá vývojář, který řeší defekty. [2][5][8]

Testovací scénář by měl mít přidělen jednoznačný identifikátor a měl by obsahovat odkaz na dokumentaci o plánu testování. Testovací scénář je tvořen sadou testovacích případů. Cílem test designera by mělo být pokrytí všech požadavků odpovídajícími testovacími případy. Testovací scénář, pokud má podobu dokumentu, mívá obvykle tuto strukturu:

- Vlastnosti, které budou testovány – co se bude testovat.
- Přístup k testování – kde a čím se bude testovat.
- Testovací případy – jaké varianty se budou testovat.
- Kritéria – (Pass/Fail) – podmínky pro splnění/nesplnění testů. [3][4][6]

Každý test dává po provedení testu dvě hodnoty:

- V pořádku, v souladu s dokumentací.
- Špatně, není v souladu s dokumentací.

Chybný test je takový provedený test, který dal opačný výsledek, než by fakticky měl. Jednoduchý popis variant výsledků testu je zobrazen v Obr. 1. [1][4]



Obr. 1 Vyhodnocení testu (převzato z [4])

Ohodnocení testu		Sledovaný jev	
		nastal	nenastal
Jev dle dokumentace	příkázán	správně	špatně
	zakázán	špatně	správně

Může se stát, že nastane situace, která není v testovacím scénáři ani dokumentaci zmíněna. Pak se musí provést analýza a doplnit potřebné informace pro splnění testovacího scénáře. [1][2][4]

1.2 Druhy testů

Proces testování začíná stanovením vize a cílů testování. Dále se určí, co vše je třeba testovat, vybírají se testy, sbírají data a připravují nástroje, které jsou potřebné k testování. Při zjišťování informací o kvalitě bývá reportování nalezených problémů – chyb. Čím dříve se chyby odhalí, tím nižší jsou náklady na jejich odstranění. Odhalené množství chyb je značně závislé na kvalitě vývoje a testování. Při špatné kvalitě vývoje nebo testování se může stát, že některé i třeba významné chyby nebudou odhaleny. To může mít za následek poškození produktu u zákazníka nebo i ublížení na zdraví zákazníka. [2][4]

UNIT TESTY

První sada testů. Jde o základní ověření kódu a jeho funkčnosti, ověřuje se jednotka (unita). Ihned po vytvoření programového kódu, je tento kód prověřen programátorem. Toto se převážně realizuje pomocí tzv. „test čtyř očí“. To znamená, že kód testuje jiný programátor než ten, který jej napsal. Program je v tomto stupni kontrolován na úrovni zdrojového kódu. [2][5]



MODUL TESTY

Tyto testy stále provádí programátor. Jejich využití je především na velkých projektech, kdy se ověřuje funkčnost nějaké komponenty nebo modulu. Často se od unit testů moc neliší. Liší se spíš v rozsahu např. celé knihovny. [1][3][8]

FUNKČNÍ TESTY

Funkční testy – Factory acceptance tests (FAT) jsou prováděny na straně dodavatele. Funkční testování obvykle zkoumá, co systém dělá. Testuje část funkčnosti celého systému a aplikace nemusí být testována na plně integrovaném prostředí. [2][7]

Dělí se dále na:

- **Smoke**
Základní test, který zjišťuje, zda je systém připraven na hloubkový systémový test, aniž by spadnul. To je důležité, protože kdybychom tento test přeskočili, mohlo by se stát, že by v hloubkovém systémovém testu došlo k pádu a v testování by se nemohlo pokračovat.
- **Regress**
Ověření, zda se v důsledku změny neobjevila chyba tam, kde to předtím již bylo v pořádku. [2][7]

INTEGRAČNÍ TESTY

Cílem těchto testů je zjistit, zda spolu jednotlivé moduly spolupracují tak, jak mají a pracují stejně jako před zaintegrováním jednotlivých vývojových větví do hlavního projektu. Integrační testy připravují testeři a mohou být jak manuální, tak i automatické. Někdy bývají označovány jako „testy vnitřní integrace“. U menších projektů lze integrační testování v testovacím cyklu zcela vynechat. [1][2][3]



SYSTÉMOVÉ TESTY

Systémové testování je zpětné ověření (pravidelné a zpravidla automatické), že změny neporušily jeho původní funkce. Jde o testování během předávací fáze projektu. Spojení integračních i systémových testů je označována jako fáze SIT (System Integration Tests). Během těchto testů je aplikace ověřována jako funkční celek. Testy ověřují aplikaci z pohledu zákazníka. Podle připravených scénářů se simulují různé kroky, které v praxi mohou nastat. Obvykle probíhají v několika kolech. Nalezené chyby jsou opraveny a v dalších kolech jsou tyto opravy opět otestovány. Součástí této úrovně jsou jak funkční, tak nefunkční testy. [1][2]

Systémové testy lze rozdělit do několika kategorií:

- **Gecover test**

Účelem je otestovat, jak rychle a zda vůbec se produkt vzpamatuje po pádu systému, HW chybě, výpadku proudu atd.

- **Security test**

Slouží k nalezení nežádoucího kódu, bezpečnostních chyb a zranitelností. Odhalují, jak a zda vůbec se systém chrání před neautorizovaným přístupem, jak jsou ukládána hesla, jak je řízen přístup, jak je implementována integritní ochrana.

- **Stress test**

Cílem je ověřit, zda při velké zátěži, která může být vygenerována automaticky, např. provedením velkého počtu složitých dotazů a nedostatku zdrojů, nedojde k chybě, která by se za normálního provozu neobjevila.

- **Performance test**

Při tomto testu systém odolává velkému počtu různých požadavků a sleduje se, jaká je jeho odezva, respektive jak je ovlivněn výkon aplikace, např. jak rychle je aplikace schopna na jednotlivé typy požadavků odpovídat.

- **Installation test**

Testuje se, jak probíhá instalace a odinstalace produktu na dané platformě. [1][2][8]



AKCEPTAČNÍ TESTY

User acceptance tests (UAT) jsou akceptační testy prováděné klientem, který si sám ověří, že jím zadaný úkol byl splněn podle jeho představ a že produkt splňuje očekávané funkce a kvalitu. Testy probíhají na testovacím prostředí u zákazníka a jsou prováděny podle připravených scénářů, které společně připravil klient s dodavatelem. V této fázi je nejdůležitější definovat si předem, jakou formou bude probíhat oznamování chyb od klienta a jak zabezpečit opravení těchto chyb. Pokud jsou objeveny nějaké chyby, je nutné je v co nejkratším čase opravit a předat zákazníkovi k dalším testům. [1][9]

VOLNÉ TESTY

V jakémkoliv stádiu vývoje a výroby lze použít volné tzv. „free“ testy. Tyto testy nejsou určeny testovacími scénáři a tester volně testuje produkt podle intuice a kreativity. Hledají se varianty, kdy by mohl například produkt selhat, a tyto varianty nejsou součástí žádného scénáře. Také se mohou testovat hraniční hodnoty tzv. procházka po okraji. [1][9]

Posledním typem testování je tzv. pilotní testování. Jde o zkušební provoz v reálném provozu. Ověřuje se správná funkce i při připojení na reálné okolí proti simulovanému prostředí v laboratořích. [2]



1.3 Kategorie Testů

Dělení testů lze rozepsat do různých kategorií. Můžeme dělit např. podle znalosti kódu:

- Černá skříňka (Black box).
- Šedá skříňka (Gray Box).
- Bílá skříňka (White box).

Podle způsobu provedení:

- Automatizované
- Manuální

Podle typu testu:

- Statický
- Dynamický

Podle dimenze kvality:

- Funkčnost (Functionality) – správné chování funkcí produktu podle zadání.
 - Použitelnost (Usability) – zda lze vůbec dosáhnout požadovaného cíle, zda je systém uživatelsky přívětivý, zda se s ním dobře pracuje.
 - Spolehlivost (Reliability) – zda se systém chová stejně za všech okolností.
 - Výkon (Performance) – zda systém není pomalý a zvládne větší množství současně pracujících uživatelů.
 - Podporovatelnost (Supportability) – zda se systém dobře instaluje, nemá problémy s cílovými hardwarovými a softwarovými konfiguracemi.
- [1][2][7]



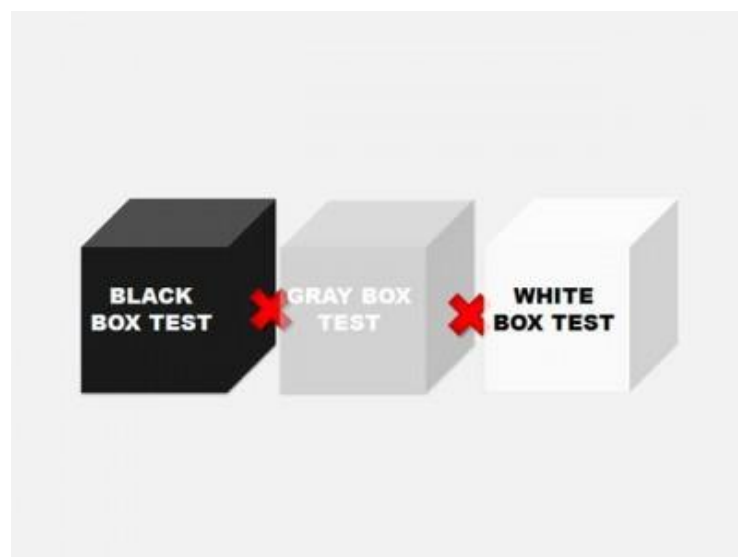
Tyto dimenze bývají někdy označovány zkratkou FURPS, kterou tvoří začáteční písmena anglických názvů jednotlivých dimenzí. Také ISO 9126, mezinárodní standard pro vyhodnocování kvality SW, popisuje tato kritéria:

- Lokalizovatelnost – snadný převod do jiných jazyků.
- Kompatibilita – možnost kombinace s jiným softwarem nebo hardwarem.
- Bezpečnost
 - uživatelsky – autorizace a autentizace.
 - technicky – odolnost proti chybným vstupům a jejich zneužití.
- Přenositelnost – nakolik je aplikace schopná fungovat na jiném HW.
- Integrovatelnost – nakolik je aplikace schopná začlenit se do jiných řešení. [2][4][6]

1.3.1 TESTOVÁNÍ SKŘÍŇEK

Testy jsou rozděleny na tzv. testovací skřínky – černá, šedá a bílá. Nedá se říct, který z těchto tří způsobů testování je nejlepší. Každý způsob testování má své opodstatnění v určité fázi vývoje. [1][2]

Obr. 2 Skřínky (převzato z [1])

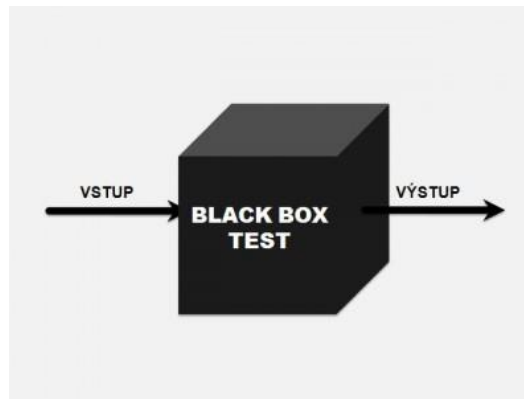




ČERNÁ SKŘÍŇKA

Produkt je brán jako černá skříňka, do které se nelze podívat, vidíme jen to, jak vypadá a jak se chová navenek. Při testování se zaměřujeme pouze na vstupy a výstupy bez znalosti toho, jak funguje. Smyslem je analyzovat chování vzhledem k očekávaným vlastnostem. Tester nemá k dispozici žádnou dokumentaci. Testuje podle testovacích scénářů, které jsou buď poskytnuty, nebo si je tester sám vytváří. Testy mohou probíhat ručně, nebo automaticky. [2][3][8]

Obr. 3 Černá skříňka (převzato z [1])



Výhody

- Jednoduchost – test může být proveden bez znalosti vnitřku produktu.
- Rychlost – lze rychle v krátkém období otestovat i rozsáhlé systémy.
- Transparentnost – jednoduché testy, které může testovat i klient.
- Testovací scénáře mohou být napsány v okamžiku, kdy je kompletní specifikace a produkt ještě není hotový. [2][3][8]

Nevýhody

- Nižší kvalita – to, že se na výstupu objeví očekávaná hodnota, neznamená, že aplikace funguje správně. Vnitřek nemusí být efektivní.
- Nežádoucí chování aplikace – kromě požadované funkcionality může produkt provádět i jiné akce, které nejsou ve specifikaci. [2][3][8]



BÍLÁ SKŘÍŇKA

Při testování bílé skřínky, má tester přístup ke zdrojovému kódu a schématu, podle kterého produkt testuje. Vidí nejen co se děje na povrchu skřínky, ale i vnitřní reakce systému. [1][3]

Výhody

- Znalost celého systému – lze odhadnout, kde se chyba vyskytuje.
- Vyšší kvalita – tester může protestovat celý produkt. [1][3]

Nevýhody

- Rychlost – díky možnosti protestovat celý produkt trvají testy déle.
- Znalost kódu – tester má přístup ke kódům a schématům, které by mohl zneužít, případně prodat. [1][3]

ŠEDÁ SKŘÍŇKA

Mezi těmito kategoriemi vznikla ještě třetí tzv. šedá skřínka. Testování šedé skřínky probíhá tehdy, kdy sice máme apriorní informaci o vnitřních algoritmech produktu, ale ne tolik, aby to bylo považováno za testování bílé skřínky. Například nemáme k dispozici celý zdrojový kód, ale jen informace o matematických principech použitých v aplikaci nebo jen části schématu. [2][6]

1.3.2 AUTOMATICKÉ A MANUÁLNÍ TESTOVÁNÍ

Podle toho, zda jsou testy prováděny člověkem nebo softwarem, se rozlišuje manuální a automatické testování. Pokud test vyžaduje lidské ohodnocení a úsudek nebo rozličné přístupy, které není třeba zaznamenat a pravidelně opakovat, je vhodnější manuální testování. Pro opakované spouštění velkého množství testů nebo testu s velkým množstvím generovaných dat, stejně jako pro zátěžové testování je výhodné použít automatické testy. [7][8]



MANUÁLNÍ

Jde o testy prováděné testerem podle testovacích scénářů. V dnešní době je již ve spoustě oblastí na ústupu a je nahrazováno automatickým testováním. Stále má ale své nenahraditelné místo v některých oblastech (např. prvotní testování). Při vývoji nových aplikací se ovšem neustále řeší nové případy, proto jsou tyto produkty testovány především ručně. [3][8]

Výhody

- Nemusí se nic programovat.
- Některé testy ani jinak než manuálně provést nelze (např. test použitelnosti). [3][8]

Nevýhody

- Testy jsou pomalé.
- Nelze jimi otestovat velké množství vstupních dat.
- Každé opakování je prodražené.
- Vše je třeba ručně zapisovat. [3][8]

Existují tzv. Exploratory tests – jde o druh manuálního testování. Liší se ale způsobem a záměrem. Testy se na rozdíl od manuálního testování neprovádějí podle předem popsaného scénáře – jejich cílem je prozkoumat, jak se testovaný produkt chová. Tedy zjistit jeho vlastnosti a funkce. [1]

AUTOMATICKÉ

Oblast automatických testů je čím dál populárnější a žádanější možností, jak testovat (především software). Hlavním cílem automatizace testů je časová úspora při jejich spouštění. Automatizace je často prováděna pomocí skriptovacích jazyků (např. Python) a smyslem je ověřit opakující se scénáře za pomoci krátkých programů. Využívá se zpravidla v situacích, kdy jde o opakování stejného scénáře, např. při pokusech o verifikaci údajně opraveného defektu. Automatizovat lze nejen vybrané manuální testy, ale také



části, nebo dokonce celý proces testování produktu. Softwarovým testováním není možné zajistit naprostou bezchybnost systému, protože nelze reálně nasimulovat nekonečné množství vstupních hodnot a zkontrolovat nekonečné množství výstupních hodnot. U aplikací s krátkou životností (v řádech měsíců, jedna verze) se nám nevyplatí vytvářet tyto testy. Automatické testování však nikdy nemůže, co do kvality, nahradit manuální testování. [1][2]

Pro automatizaci samotného testování je potřeba splnit řadu předpokladů, tedy mít:

- testovací nástroj,
- vstupní a výstupní data,
- testovaný program, který už automatizaci podporuje skrze svá rozhraní.

[1][2]

Výhody

- Testy jsou rychlé.
- Možnost otestovat větší množství vstupních dat.
- Jde snadno a s minimálními náklady zopakovat.
- Výsledky testů se zapisují do logu.
- Některé testy se v podstatě ani jinak, než automaticky dělat nedají (např. zátěžové testy).
- Lze spouštět v kteroukoliv dobu (např. v noci).
- Pokud člověk prochází neustále ty samé testovací scénáře, často se stává, že některou chybu přehlédne. U automatických testů tento nepříznivý jev není. [3][4][8]

Nevýhody

- Je nutné testy naprogramovat.
- Nutnost neustálé údržby testů. [3][4][8]



1.3.3 STATICKÉ TESTOVÁNÍ

Statické testování nevyžaduje běh produktu, proto je možné s ním začít ještě před vytvořením prvního prototypu. I dokumentace je předmětem testování. Lze ho s výhodou provádět ještě před začátkem vývoje, výsledkem pak může být například zpřesnění odhadů náročnosti na čas. [2][9]

1.3.4 DYNAMICKÉ TESTOVÁNÍ

Dynamické testování vyžaduje existenci produktu a probíhá hlavně na základě poskytování různých vstupů (anebo i neposkytování žádných) a posuzování výstupů (i jejich samotné existence) testovaného produktu. Jednoduše řečeno musí se testovat za běhu produktu. [2][8]



2 ISO STANDARDY

ISO je nezávislou a nevládní mezinárodní organizací pro normalizaci s členstvím v 161 národních normalizačních orgánech. Zastupující institucí pro Českou republiku je od roku 2009 Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Ústřední sekretariát sídlí v Ženevě ve Švýcarsku. Organizace byla založena 23. února 1947. Vzhledem k tomu, že Mezinárodní organizace pro normalizaci měla různé zkratky v různých jazycích (IOS v angličtině, OIN ve francouzštině), tak se zvolila obecná zkratka ISO. Slovo je odvozeno z řeckého isosu znamenajícího stejný. [10][11][12]

2.1 Popis standardů

Standardy jsou závazná pravidla, požadavky, či měřítka chování lidí v procesech, nebo požadavky na vlastnosti produktů. Představují společnou dohodu o vlastnostech produktů, výrobků, služeb, průběhu procesů, či chování lidí s cílem sladění či zaručení jejich určitých stejných vlastností, stejného chování či stejného způsobu řízení. Cílem je standardizace a kompatibilita produktů. ISO vydalo 22 136 mezinárodních norem a souvisejících dokumentů (např. technické specifikace, zprávy, dohody o technických trendech), které pokrývají téměř všechna průmyslová odvětví, od technologie, po bezpečnost potravin, zemědělství a zdravotní péči. [12][14][15]

2.2 Standardy v automobilovém průmyslu

Hlavní přínosy standardů v automotive jsou:

- Sjednocení požadavků na vlastnosti a snížení rozmanitosti produktů a procesů.
- Ochrana zákazníků díky zvyšování kvality.
- Zlepšení a sjednocení komunikace mezi podniky (sjednocení pojmů, symbolů a kódů). [12][14][15]



Důležité standardy v automotive:

- ISO 16845 - Silniční vozidla – Plán zkoušek shody podle předpisu sítě (CAN) vrstva datového spojení a fyzická signalizace
- ISO 16750 - Silniční vozidla – Podmínky prostředí a elektrické zkoušky elektrických a elektronických zařízení instalovaných v automobilech.
ISO 16750 má pět částí:
 - ISO 16750-1: Obecné.
 - ISO 16750-2: Elektrické zátěže.
 - ISO 16750-3: Mechanické zatížení.
 - ISO 16750-4: Klimatické zatížení.
 - ISO 16750-5: Chemické zatížení.
- IEC 61967-4- Integrované obvody – Měření elektromagnetických emisí.
Všeobecné podmínky a definice – Formát výměny dat v blízkosti pole.
Normy elektromagnetického rušení (EMI). [12]

Příklad interních standardů:

- VW 80000- Norma Volkswagen – Elektrické a elektronické komponenty v motorových vozidlech do 3,5 t. [12]



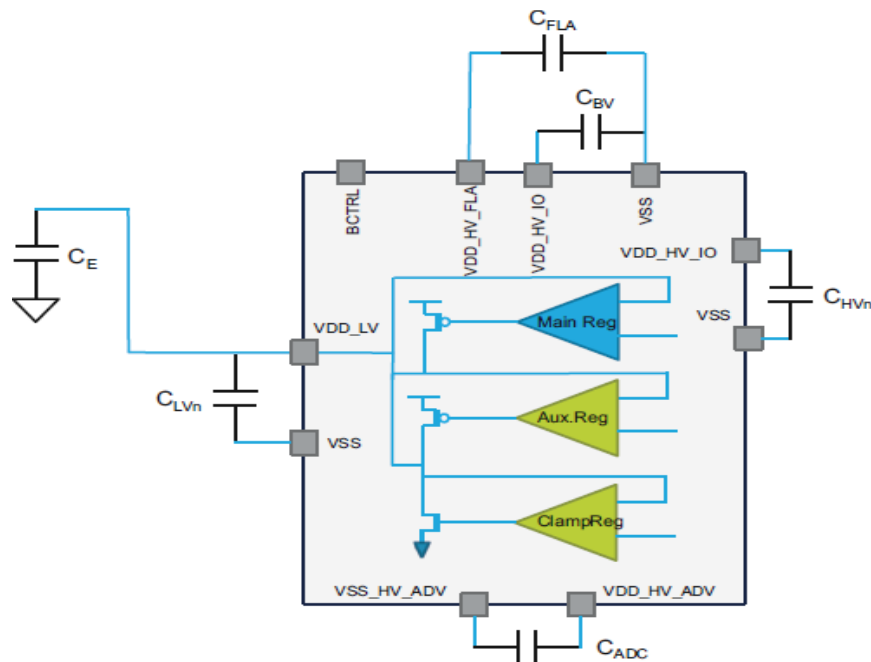
PRAKTICKÁ ČÁST

3 NÁVRH MĚŘENÍ

Na testovací desce lze měřit odběr a stabilitu jakéhokoliv připojeného mikrokontroléru řady SPC57xx a SPC58xx. Pro vytvoření testovacích scénářů byla potřeba nejprve rozhodnout, jaký mikrokontrolér zvolit. Série mikrokontroléru SPC57xx (McKinley, Sphaero, Velvety apod.) se přestává používat, proto bylo zbytečné vybírat z této řady. V nové sérii SPC58xx už byly provedeny testy s tímto napájecím zdrojem na mikrokontrolérech Bernina a Eiger. Zůstal tedy jediný velký μC Chorus. Tento mikrokontrolér je rozdělen podle vnitřní paměti na 1 M, 2 M, 4 M, 6 M a 10 M. Pro měření byla zvolena paměť 2 M, protože 1 M není tolik využíván a μC s větší pamětí než 2 M se od sebe moc neliší. Každý μC má více pinových variant. Zvolený Chorus má konkrétně 64, 100, 144, 176 a 292 pinů. Pro měření byl zvolen Chorus s 64 piny, aby navržené testy a zdrojový kód byly kompatibilní s vícepinovými μC .

Výhodou tohoto μC je, že obsahuje více programovatelných energetických módů spotřeby (low power mode – LPM) oproti jiným mikrokontrolérům z této řady. Mikrokontrolér Chorus obsahuje vnitřní obvod tzv. „Ballast“, který mění vstupní napájecí napětí na 1,25 V potřebných pro nízkonapěťové funkce.

Obr. 4 Ballast (převzato z [20])





Důležitou věcí pro vytvoření testů bylo rozhodnout, které napěťové varianty zdroje a proudové módy mikrokontroléru zvolit. V případě napěťového zdroje se řešilo výstupní napětí 6 V, které nemělo vhodné využití, proto se netestovalo. Napětí 1.25 V se netestovalo právě díky zmíněnému „ballastu“. Zdroj obsahuje i režim bypass, který omezí výstupní proud téměř na pětinu normálního (300 mA). Tímto režimem se dal změřit hraniční odběr mikrokontroléru a jeho chování. Podle reálných a praktických podmínek bylo zvoleno výsledných 11 napěťových variant (viz Příloha Tab. 3). Mikrokontrolér lze nastavit do 11 různých proudových módů. Pro měření bylo vybráno 6 módů (viz Tab. 1), které jsou později v této práci popsány. Pro vybírání módů bylo rozhodnuto, že některé módy lišící se v jednotkách μA nebudou použity, protože by se výsledné proudy v laboratoři nezměřily přesně. Při variantě „bypass“ u zdroje a low power módu u μC se muselo podle katalogového listu ověřit, jestli zdroj nemá větší spotřebu než samotný mikrokontrolér a tím pádem by nemělo cenu tuto variantu měřit. Zdroj neměl větší spotřebu, a tak se tato varianta mohla změřit.

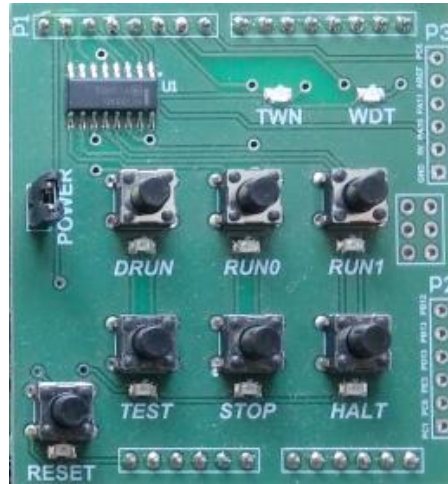
Tab. 1 Módy μC

Tlačítka	Mód μC	SPC mód
DRUN	DRUN	normal
RUN1	RUN3	normal
RUN0	RUN0	normal
TEST	STANDBY	LOW power
STOP	STOP	LOW power
HALT	HALT	normal
RESET	RESET	Reset

Pro nastavení napěťových variant na desce byly vytvořeny tabulky (viz Příloha Tab. 7 a Tab. 8) s nastavením spojek do konkrétních poloh. Jednotlivé označení měřících kolíků a spojek je popsáno v příloze Tab. 4 a Tab. 5. K přepínání proudových módů složí klávesnice Arduino, vypůjčená z první testovací desky, která se připojuje přes tzv. „Arduino socket“. Klávesnice je zobrazena na Obr. 5.



Obr. 5 Arduino klávesnice





4 TVORBA TESTŮ A VÝSLEDKY

Po vytvoření variant testování byla potřeba vytvořit testovací scénáře. Každý testovací scénář je složen z pěti částí:

- Podmínky a konfigurace testu – určení měřících napětí a proudu, módů, variant a teplot.
- Provedení – určení postupu měření pro konkrétní test.
- Očekávání – očekávané chování desky podle katalogového listu.
- Měření – změřené hodnoty v tabulkách a grafech.
- Výsledky – vyhodnocení měření.

Vzorový testovací scénář popisuje Obr. 6.

Obr. 6 Vzorový test

ZKOUŠKA NAPÁJECÍHO NAPĚTÍ

Zkouška veškerého napájecího napětí.

KONFIGURACE

Zdroj napětí	12 V
Zkušební teplota	25° C
μC módy	všechny
Napěťové úrovně	všechny

Tabulka 14 Zkouška napájecího napětí

PROVEDENÍ

Měří se potřebné parametry na testované desce za pomoci měřících přístrojů v laboratoři.

OČEKÁVÁNÍ

Žádné abnormální chování, napětí je stabilizované. Napěťový zdroj neskáče do resetu a nevypne se.

MĚŘENÍ

Výsledky měření v příloze tabulky 29 a 30.

VÝSLEDKY

Toto měření mělo za úkol ověřit základní funkčnost celé desky, funkčnost byla měřením potvrzena.

Samotné testy byly rozděleny do dvou skupin. První skupina tzv. systémových testů byla vybrána ze standardu VW80000, který je akreditovaným podle DIN EN ISO /IEC 17025. Tento standard bere testovací desku jako černou skříňku a testuje všechny možné varianty, které mohou v automobilu nastat. Standard obsahuje elektrické, fyzické a mechanické testy. I přes to, že deska není určena k sériové výrobě, naším cílem bylo, aby splňovala co nejvíce kritérií ze



standardů, a proto se zvolily všechny testy, které bylo možno v laboratoři a na desce změřit. Pro testovací desku nebyly vybrány fyzické a mechanické testy, protože samotná deska není v žádné ochranné krabici a desku by tyto testy poškodily. Byla potřeba upravit definice testů, protože některé podmínky nelze v laboratoři bez speciálních přístrojů a prostředí nasimulovat. Například pro měření příliš vysokých teplot je v laboratoři STMicroelectronics měřicí „mikrovlňka“, ve které se měří deska s měřicími přístroji uvnitř a při vysoké teplotě by došlo k poškození přístrojů. Dále se musel změnit počet měřených přípravků ze šesti na jeden, protože výroba šesti kusů šestivrstvého plošného spoje by byla finančně velice nákladná. Druhou skupinou jsou funkční testy. Tyto testy byly vytvořeny podle potřeby k otestování konkrétních parametrů, pinů, vstupů, výstupu a různého dějového chování desky.

Na desce pak byly tyto systémové a funkční testy změřeny. Testy byly důležité pro zjištění, zda tato deska, resp. zdroj pracuje podle katalogových hodnot, jestli splňuje standardy a jestli je schopen napájet konkrétní mikrokontrolér podle zvolených parametrů. Vzhledem k tomu, že finální deska není určena pro zákazníka tak se další druhy testů neprováděly.

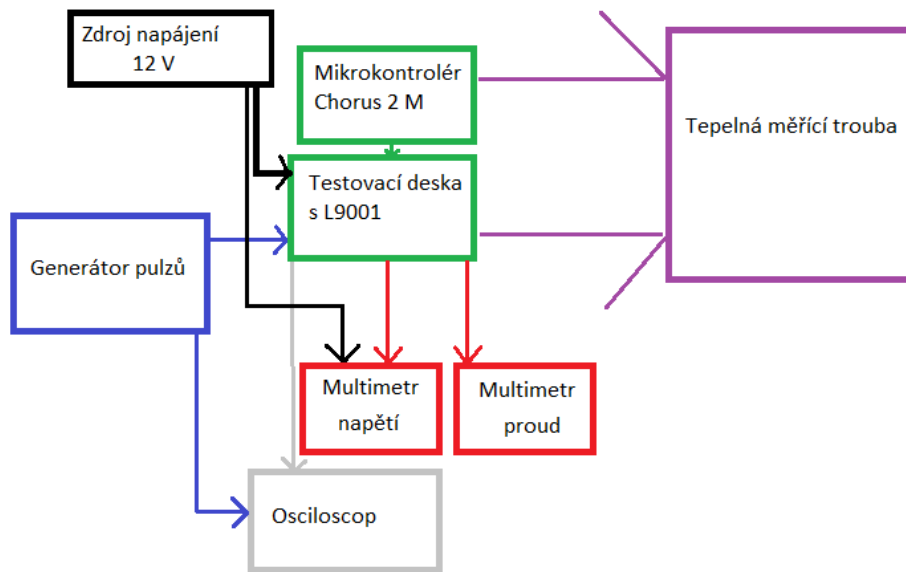
Testy byly měřeny v laboratoři ve firmě STMicroelectronics kalibrovanými přístroji (viz Příloha Tab. 6). Pro měření byly použity i speciální přístroje jako je měřicí „mikrovlňka“ ve které se může měřit při vyšších teplotách nebo IZO pulzní generátor, který umí generovat náhodné a naprogramované signály.

Popis zapojení

K testovací desce se připojil mikrokontrolér Chorus v připojovacím pouzdře od firmy STMicroelectronics. Na testovací desce se podle konkrétních testů nastavily spojky dle tabulek do požadovaných poloh. K desce se podle testů připojily měřicí přístroje jako např. multimetr nebo osciloskop. Do desky se přivedlo napájecí napětí 12 V ze zdroje nebo generátor pulzů podle konkrétního testu. Při testu, který se prováděl ve vysoké teplotě, se celé zapojení i s měřicími přístroji vložilo do tepelné trouby. Celé schéma zapojení je zobrazeno v Obr. 7.



Obr. 7 Schéma zapojení



Měřené testy

Seznam systémových a funkčních testů je vypsáný v Tab. 2. Složení systémových testů zůstalo takové, jaké je definováno ve standardu, aby provedené testy a výsledky odpovídaly předpisům.

Tab. 2 Seznam testů

Systémové Testy
Dlouhodobé přepětí
Přechodné přepětí
Přechodné podpětí
Rychlý start
Pomalý pokles a vzestup napájecího napětí
Rychlý vzestup napájecího napětí
Resetovací vlastnosti
Změna potenciálů kostry
Funkční Testy
Záměna pólů
Přerušení Spojek a konektorů
Měření pinů
Zkouška napájecího napětí



Dlouhodobé přepětí

Tento test zkouší odolnost komponenty proti dlouhodobému přepětí. Simulován je defekt regulátoru generátoru během jízdního provozu. Konfigurace pro test je přiložena v příloze Tab. 9. Výsledky měření v příloze Tab. 10, Tab. 11 a Tab. 12. Měřilo se ve třech časových intervalech po 20 minutách. S delším časem v teple se zvyšovala spotřeba na výstupech. Při měření nenastalo neočekávané chování v žádné fázi měření.

Přechodné přepětí

Při odpojení spotřebičů a při krátkých přidáních plynu (Tip-In) může dojít k přechodným přepětím v palubní síti. Tato přepětí jsou simulována pomocí tohoto testu. Konfigurace pro test je přiložena v příloze Tab. 13, vzorové signály v příloze Obr. 11 a výsledky měření v příloze Obr. 12. Změny napětí se měřily na osciloskopu. Vzhledem k tomu, že aplikace může být napájena mnohem vyšším napětím, než jaké určuje test, tak žádné velké výkyvy nenastaly.

Přechodné podpětí

Z důvodu zapojení spotřebičů může dojít k přechodným podpětím v palubní síti. Tato podpětí jsou simulována pomocí tohoto testu. Konfigurace pro test je přiložena v příloze Tab. 14, vzorový signál v příloze Obr. 13 a výsledky měření v příloze Obr. 14. Protože aplikace může být napájena i menším napětím, než jaké určuje test tak i při vysoké teplotě žádné velké výkyvy nenastaly.

Rychlý start

Je simulován cizí start vozidla. Maximální zkušební napětí vyplývá ze systémů užitkových vozidel a jejich zvýšených napětí palubní sítě. Konfigurace pro test je přiložena v příloze Tab. 15, vzorový signál v příloze Obr. 15 a výsledky měření v příloze Obr. 16. Na výsledném měření byly vidět lehké výkyvy napětí, které ale neovlivnily chování mikrokontroléru.



Pomalý pokles a vzestup napájecího napětí

Simulován je pomalý pokles a vzestup napájecího napětí tak, jak k nim dochází při pomalých procesech vybíjení a nabíjení baterie vozidla. Konfigurace pro test je přiložena v příloze Tab. 16, vzorový signál v příloze Obr. 17 a výsledky měření v příloze Obr. 18. Při vybíjení kolem hranice 5,51 V zdroj zakolísal a jednou se vypnul a znovu zapnul. Po překročení této hranice se deska vypnula. Deska sepnula v hodnotě 5,56 V. Tento test byl časově náročný, tudíž nezbyl dostatek času měření opakovat a ověřit skok při vypínání.

Rychlý vzestup napájecího napětí

Tento test simuluje prudké obnovení napětí baterie např. pomocí přiložení vnějšího napájecího zdroje. Konfigurace pro test je přiložena v příloze Tab. 17, vzorový signál v příloze Obr. 19 a výsledky měření v příloze Obr. 20. Napájecí zdroj sepnul při 5,54 V, což odpovídá hodnotě v katalogovém listu. Do této hodnoty bylo vše vypnuto a nikde nebylo žádné napětí ani signály. Při tomto testu se měřily kontrolní signály, které se nesejnuly a tím potvrdily správnou funkčnost zdroje.

Resetovací vlastnosti

Jsou simulovány a zkoušeny resetovací vlastnosti komponenty v jejím prostředí. V provozu dochází k libovolnému časovému sledu pochodů opakovaného zapnutí a vypnutí a to nesmí vést k nedefinovanému chování komponenty. Konfigurace pro test je přiložena v příloze Tab. 18, vzorový signál v příloze Obr. 21 a výsledky měření v příloze Obr. 22. Do hodnoty 5,52 V nebyl resetovací signál pro zdroj ovlivňující. Poté už vždy docházelo k vypnutí zdroje nebo zapnutí zdroje a náběhu všech systémů. Deska projevovala katalogové chování.

Změna potenciálů kostry

U komponent s více napěťovými vstupy mohou vzniknout diference potenciálů mezi jednotlivými napájecími body. Je nutno zajistit, aby při diferenci potenciálů ke kostře až do +/-1 V nedošlo k žádnému ovlivnění její funkce. Konfigurace pro test je přiložena v příloze Tab. 19, vzorové zapojení v příloze



Obr. 23 a výsledky měření v příloze Tab. 20. Měřilo se, aby při diferenci potenciálu kostry nedošlo k žádnému ovlivnění její funkce, které se měřením potvrdilo.

Přerušení Spojek a konektorů

Simulováno je přerušení vedení jednotlivých kolíků a vedení konektoru. Konfigurace pro test je přiložena v příloze Tab. 21, tabulka měřených spojek v příloze Tab. 22 a výsledky měření v příloze Tab. 23. Každý kolík, spojka a konektor byl vypojen a znovu zapojen. Žádný z nich neovlivnil po zapojení desku tak, aby nastaly neočekávané jevy. Po připojení vše vždy naskočilo podle očekávání a nedošlo k žádnému poškození desky.

Záměna pólů

Je zkoušena odolnost zkušebního vzorku proti záměně pólů při připojení baterie při externím startu. Přitom je nutno poznamenat, že přepólování se může vyskytnout vícekrát a nesmí to vést k poškození komponenty. Konfigurace pro test je přiložena v příloze Tab. 26 a výsledky měření v příloze Tab. 27. Tento test byl časově nejkratší ze všech prováděných testů. Při otočení napájení deska podle očekávání nefungovala a byla vypnuta i při opakovaném připojení.

Měření pinů

Tento test byl navržen pro změření přepínacích pinů výstupních zdrojů CONF1,2 a zjištění jak se bude chovat zdroj. Konfigurace pro test je přiložena v příloze Tab. 24 a výsledky měření v příloze Tab. 25. Měření bylo velice krátké. Pomocí měření se zkoumalo, co nastane při nastavení spojek CONF 1 a 2. Potvrdilo se katalogové chování a výstupní napětí zdroje nefungovalo.

Zkouška napájecího napětí

Test veškerého napájecího napětí, který se prováděl se všemi variantami napětí a proudových módů zdroje, aby se ověřila základní funkčnost desky. Konfigurace pro test je přiložena v příloze Tab. 28 a výsledky měření v příloze Tab. 29 a Tab. 30. Funkčnost desky byla potvrzena, veškeré napěťové varianty i proudové módy šli nastavit a správně změřit.



Z každého testu je přiložena jen jedna varianta měření, protože ostatní varianty jsou velice podobné.

Neměřené testy

Při testování se objevila chyba na testovací desce, která byla zaviněna špatným osazením ze strany výrobce desky. Deska byla zaslána na reklamaci, která se protáhla. V důsledku toho nebyly změřeny dva testy (startovací impulzy a Load Dump test). Tyto testy proto nejsou v této diplomové práci uvedeny a budou doměřeny po vyřízení reklamace. Testování samotného zdroje nebylo třeba, protože jeho testy už byly provedeny na první desce. Také různé testování výstupních signálů (WAKE, watchdog, TWN – teplotní signál) nebylo třeba testovat, protože už bylo testováno dříve. Po návratu z reklamace budou některé testy znovu změřeny, aby se ověřila správná funkčnost. Poté také budou změřeny mikrokontroléry s více piny.



5 TESTOVACÍ SOFTWARE

Jelikož se deska měří a nastavuje ručně, nebyla potřeba vytvářet uživatelský software, který by tuto desku testoval automaticky. Jediný potřebný software, který je zde použit, je zdrojový kód pro inicializaci módů a jejich přepínání pomocí připojené klávesnice. Celý kód je napsán v programovacím jazyce C. Samotný μC obsahuje 11 módů, pro měření stačilo jen 6 módů a reset. V referenčním manuálu jsou módy popsány takto:

- DRUN – Vstupní režim, který poskytuje plnou přístupnost systému a umožňuje konfiguraci systému při spuštění.
- RUN0,3 – Jedná se o softwarově spustitelné režimy, které jsou volně programovatelné. Lze u nich nastavit odpojení periferií, konfigurace hodin, pamětí a napájení.
- HALT0 – Jde o režim s nízkým výkonem, během něhož jsou hodiny k jádru vypnuty. Může být nakonfigurován pro efektivnější řízení napájení za cenu pomalejšího probuzení.
- STOP0 – Pokročilý režim s nízkým výkonem, během kterého jsou hodiny k jádru vypnuty. Může být nakonfigurován pro efektivnější řízení napájení za cenu pomalejšího probuzení.
- STANDBY0 – Jedná se o režim s nízkým výkonem, během kterého je jádro odpojeno od napájení. Při probuzení z tohoto módu po delší době může dojít ke ztrátě dat. Před přepnutím do tohoto stavu se musí veškerá data uložit.
- RESET – Virtuální režim v celém čipu, během něhož aplikace není aktivní. Inicializuje se konfigurace čipů, regulátory napětí, hodiny zdrojů flash paměti.

Obr. 8 zobrazuje, které periferie jsou při konkrétním módu defaultně nastaveny. U položek, kde se nachází X lze toto nastavení softwarově změnit.



Obr. 8 Seznam periferií (převzato z [21])

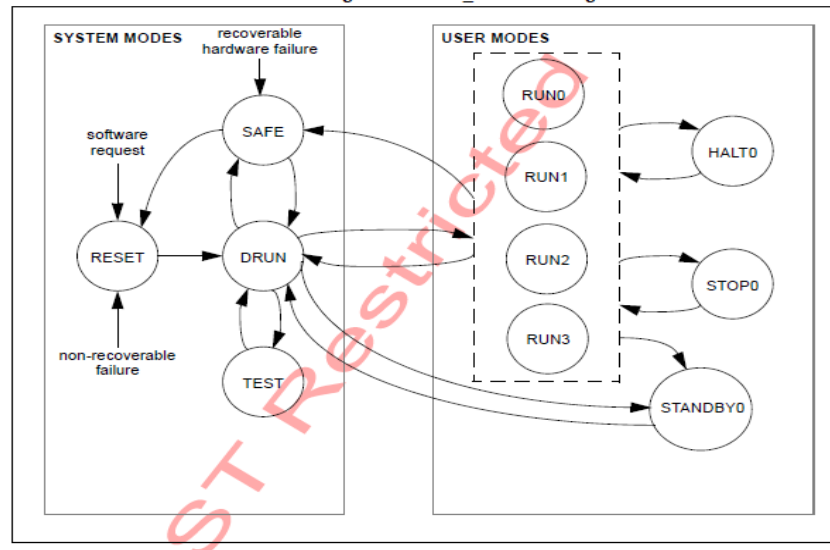
Resource	Mode							
	RESET	TEST	SAFE	DRUN	RUN0-3	HALT0	STOP0	STANDBY0
IRC	on	X on	on	on	on	on	on	X on
XOSC	off	X off	off	X off	X off	X off	X off	off
PLL0	off	X off	off	X off	X off	X off	off	off
PLL1	off	X off	off	X off	X off	X off	off	off
FLASH	normal	X normal	normal	X normal	X normal	X low-power	X power-down	power-down
MVREG	on	on	on	on	on	on	on	off
PDO	off	X off	X on	off	off	off	X off	on

Kde IRC – vnitřní oscilátor, XOSC – externí oscilátor, PLL0 – primární frekvenční modulátor, PLL1 – sekundární frekvenční modulátor, FLASH – paměť flash, MVREG – vnitřní napěťový regulátor na 1,25 V, PDO – výstupní piny.

Obr. 9 zobrazuje, jak se může mezi jednotlivými módy přepínat. Mezi RUN0 a RUN3 lze volně přepínat. Z těchto dvou módu je možno skočit do zbylých módů. Při změně, např. ze STOP do STANBY0, se musí nejdříve přepnout zpět do RUN0 nebo RUN3, a až poté skočit do STANDBY0.

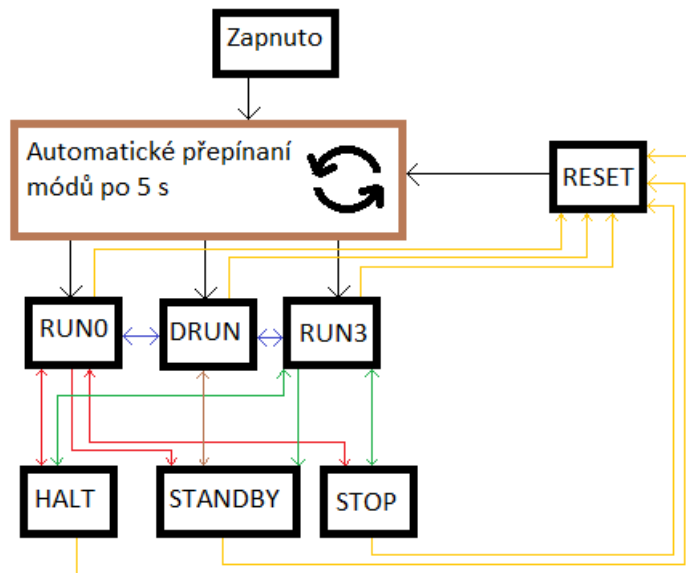


Obr. 9 Pracovní módy (převzato z [21])



Podle těchto přepínacích pravidel je napsaný program vyjádřený přepínacím diagramem na Obr. 10.

Obr. 10 Přepínací diagram



Po zapnutí desky naskočí automatické přepínání módů po 5 sekundách. Z tohoto přepínání lze vyskočit do módů RUN0, RUN3 nebo DRUN pomocí připojené klávesnice Arduino. Z těchto módů je možné skočit energeticky úsporných módů opět pomocí klávesnice. Při stisknutí tlačítka RESET v jakémkoliv módu se celá deska resetuje a opět se spustí automatické přepínání.



Všechny módy jsou definovány v kódu v metodě „init.c“, „mc_me.c“, „DMA.c“. Každá tato metoda inicializuje periferie pro proudové módy tzn. jestli se mají jednotlivé periferie zapnout nebo vypnout.

Většina tohoto kódu je převzata z referenčního manuálu, kde je popsáno, jak se která periferie inicializuje a pomocí kterých registrů. Jednotlivé módy byly naprogramovány podle základního stavu udávaného v Obr. 9. Součástí celkového softwaru jsou i předdefinované knihovny pro definici přerušení a výstupů, pro komunikaci s periferiemi na desce SPC58xx a základní kód pro komunikaci s GUI při vytvoření uživatelského softwaru. Tyto knihovny jsou v programu pro případné budoucí využití.

Hlavní metoda se nazývá „core0.c“ která definuje, ze které paměti číst a do které zapisovat. Dále se zde definují registry pro spouštění módu, maskování a inicializace klávesnice. V této metodě je i kód pro přepínání módů pomocí klávesnice. Při programování bylo potřeba omezit přepínání na klávesnici mezi módy, proto klávesnice umožňuje pouze přepnutí pouze povolené logiky. Některé názvy módů z mikrokontroléru nesedí s popisem módů na klávesnici, ale to samotnému měření nevádí.

Po zmáčknutí resetu na klávesnici se celý μC resetuje a spustí se automatický režim, během kterého se po určité časové době přepíná periodicky mezi módy, jak bylo popsáno výše. Tento režim je vhodný při testech, kdy se měří jen výstupní napětí a urychlí se tím samotné měření. Z tohoto cyklu je možno vyskočit tak, že se zmáčkne jakékoliv tlačítko na klávesnici.

Veškeré kódy k mikrokontroléru jsou na přiloženém CD.



6 KOMERČNÍ VYUŽITÍ, EKONOMICKÝ ROZBOR

Vzhledem k tomu, že deska není složena z běžných dvou vrstev ale hned šesti, tak celková výroba a osazení bylo velice drahé a zdlouhavé. Navíc bylo potřeba desku přizpůsobit připojovacím deskám s mikrokontroléry SPC58xx, takže deska není zcela přehledná a hůře se hledají měřící spoje a kolíky. Finální deska není určena ke komerčnímu využití. Deska má otestovat, jak funguje napěťový zdroj s různými mikrokontroléry, jeho chování a stabilitu. Deska bude použita ve firmě STMicroelectronics pro testování a pro podporu zákazníků při práci s daným zdrojem. Samotný napěťový zdroj bude využit ke komerčním účelům v automobilovém průmyslu.



ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala měřením a testováním univerzální desky s napájecím zdrojem L9001 a připojeným mikrokontrolérem řady SPC58xx (Chorus 2 M) od firmy STMicroelectronics. Na začátku práce byly popsány druhy testů, popis testování a standardů. V další části je pak popsán návrh testů, volba mikrokontroléru, výběr napěťových variant a proudových módů. Po návrhu následuje popis samotného testování desky s výsledky. Součástí této práce je i zdrojový kód pro obsluhu jednotlivých módů na mikrokontroléru. Při přeprogramování kódu lze připojit a otestovat jiný μC řady SPC58xx.

Cílem bylo navrhnout sadu testů a otestovat na zmíněné desce. Všechny testy proběhly podle očekávání až na dva testy, které se z důvodu vady na desce nepodařilo včas změřit. Výsledky měření použije firma STMicroelectronics pro svůj další vývoj a návrh plošných spojů.



LITERATURA

- [1] Typy testování – CleverAndSmart. CleverAndSmart – ICT management [online]. Copyright © 2008. Dostupné z: <https://www.cleverandsmart.cz/typy-testu/>
- [2] Testování softwaru. Testování softwaru [online] 2016. Dostupné z: <http://testovanisoftwaru.cz/>
- [3] Typy testování software. Radek Kitner – konzultant, lektor testování softwaru [online]. Dostupné z: http://kitner.cz/testovani_softwaru/typy-testovani-software-trideni-testu/
- [4] Testování softwaru – Wikipedie. [online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Testov%C3%A1n%C3%AD_softwaru
- [5] What is Software Testing? ISTQB Exam Certification – Study material for Foundation level, Premium & Free for ISTQB and ASTQB Exam, Certification questions, answers, software testing tutorials and more [online] 2018. Dostupné z: <http://istqbexamcertification.com/what-is-software-testing/>
- [6] 5 key software testing steps every engineer should perform. TechBeacon: A guiding light for dev and ops professionals | TechBeacon [online]. Copyright © 2018 EntIT Software LLC. Dostupné z: <https://techbeacon.com/5-key-software-testing-steps-every-engineer-should-perform>
- [7] Software Testing Strategies and Best Practices | Atlassian. Atlassian | Software Development and Collaboration Tools [online]. Copyright © 2016 Atlassian. Dostupné z: <https://www.atlassian.com/software-testing>
- [8] The 7 Common Types of Software Testing! - Usersnap. Usersnap – Smart Feedback to Build Great Digital Products [online]. Copyright © 2013. Dostupné z: <https://usersnap.com/blog/software-testing-basics/>
- [9] Software Testing Tutorial. [online]. Copyright © Copyright 2018. All Rights Reserved. Dostupné z: https://www.tutorialspoint.com/software_testing/index.htm
- [10] Standardy a normy v managementu - ManagementMania.com. [online]. Copyright © 2011. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/standardy-a-normy-v-managementu>
- [11] ISO – International Organization for Standardization. [online]. Copyright © All Rights Reserved 2018. Dostupné z: <https://www.iso.org/home.html>



- [12] Mezinárodní organizace pro normalizaci – Wikipedie. [online] 2017.
Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Mezin%C3%A1rodn%C3%AD_organizace_pro_normalizaci
- [13] What is ISO? • Benefits of ISO Certification | ISO QSL. ISO Certification Kept Simple | ISO Quality Services Ltd [online]. Copyright © 2016. Dostupné z: <https://www.isoqsltd.com/about-us/what-is-iso/>
- [14] The Global Voice of Quality | ASQ [online] 2018. Dostupné z: <https://asq.org/quality-resources/standards-101#iso>
- [15] ISO and other certifications – Articles and tools | BDC.ca. [online] 2018. Dostupné z: <https://www.bdc.ca/en/articles-tools/operations/iso-other-certifications/pages/default.aspx>
- [16] International Organization for Standardization (ISO) Standards | IHS Markit. [online]. Copyright © 2018 IHS Markit. All Rights Reserved. Dostupné z: <https://ihsmarkit.com/products/iso-standards.html>
- [17] NEUMANN, Přemek a Jan UHLÍŘ. Elektronické obvody a funkční bloky. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03281-7.
- [18] NEUMANN, Přemek a Jan UHLÍŘ. Elektronické obvody a funkční bloky. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02394-X.
- [19] Simple power supply L9001 katalogový list [online]. 2017. Dostupné z: <https://www.st.com>
- [20] Mikrokontrolér Chorus 2M katalogový list [online]. 2017. Dostupné z: <https://www.st.com>
- [21] Mikrokontrolér Chorus 2M reference manuál [online]. 2017. Dostupné z: <https://www.st.com>
- [22] SPC58NN84R7reference manuál [online]. 2017. Dostupné z: <https://www.st.com>
- [23] LV124 - VW_80000CZ [online]. 2014. Dostupné z: <https://www.st.com>



PŘÍLOHY

Tab. 3 Napěťové varianty

Varianta	Regulátor 1	Regulátor 2	VADC
1	5 V	BUCK @ 3,3 V	5 V
2	5 V	LDO @ 3,3 V	5 V
3	5 V	vypnuto	5 V
4	3,3 V	BUCK @ 5 V	5 V
5	3,3 V	LDO @ 5 V	5 V
6	3,3 V	vypnuto	3,3 V
7	vypnuto	BUCK @ 5 V	5 V
8	vypnuto	LDO @ 5 V	5 V
9	vypnuto	BUCK @ 3,3 V	3,3 V
10	vypnuto	LDO @ 3,3 V	3,3 V
11	vypnuto	vypnuto	vypnuto
low power	bypass	bypass	vypnuto

Tab. 4 Měřicí kolíky

Měřicí kolíky	Popis
J1A	Vbat – vstupní napětí
J1B	GND Vbat
J2A	VS – napájecí napětí L9001
J2B	GND VS
J3A	VDD1 out – výstupní napětí výstupu 1
J3B	GND VDD1
J4A	VDD2 out – výstupní napětí výstupu 2
J4B	GND VDD2
J5A	VADC OUT – výstupní napětí výstupu adc
J5B	GND VADC
J6	CP Vbat – napětí kondenzátu CP
J7	WAKE signál
J8	VR2 – zpětná vazba 2
J9	VR1 – zpětná vazba 1
J10	WDT – watchdog signál
J11	RESN resetovací signál
J12	WDI – watchdog input signál
J13	WDO – watchdog output signál
J14	TWN – teplotní signál
J15	STBY – standby signál



J200	c split – signál CAN
J202	CAN L signál
J203	CAN WAKE signál
J204	CAN H signál
J205	GND CAN
J206	GND CAN

Tab. 5 Měřicí spojky

Spojky	Místo použití	Výchozí stav spojky	Varianty
JP1	dioda bypass	spojeno	
JP2	filter bypass	spojeno	
JP3	5 V SR	1-2.	1-2. VDD1 1-3. VDD2
JP4	VDD1 VR1	1-2.	1-2. VDD1 1-3. VS
JP5	VS	spojeno	
JP6	VDD2 LDO	rozpojeno	
JP7	3,3 V SR	1-3.	1-2. VDD1 1-3. VDD2
JP8	WAKE z VS	1-3.	1-2. GND 1-3. VS
JP9	FLEX	1-3.	1-2. VDD1 1-3. VDD2
JP10	MAIN	1-2.	1-2. VDD1 1-3. VDD2
JP11	WAKE externí	rozpojeno	1-2. USB 1-3. CAN Rozpojeno NC
JP12	VDD2 VR2	1-2.	1-2. VDD2 1-3. VS
JP13	WD vypnutí	spojeno	
JP14	WD – short	spojeno	Společné
JP15	WD – mid	rozpojeno	
JP16	WD – long	rozpojeno	
JP17	FB-1,25 V	rozpojeno	Společné
JP18	FB-3,3 V	spojeno	
JP19	FB – 5 V	rozpojeno	
JP20	RSTN1	spojeno	
JP21	RSTN2	spojeno	



JP22	ADCMON	spojeno	
JP23	VBAT bypass	spojeno	
JP24	WDO	spojeno	
JP25	VDD1	rozpojeno	1-2. 3,3 V
			1-3. 6 V
			Rozpojeno 5 V
JP26	VDD2	1-2.	1-2. BUCK
			1-3. LDO
			Rozpojeno fail
JP27	VADC	1-3.	1-2. 3,3 V
			1-3. 5 V
			Rozpojeno fail
JP28	STBY HW	1-3.	1-2. 5 V SR
			1-3. μ C
JP29	VADC proud	spojeno	
JP400	RESN	spojeno	
JP500	RESET	spojeno	
JP501	RESET	spojeno	
JP200	CAN 5 V	spojeno	
JP201	CAN H	spojeno	
JP202	CAN L	spojeno	
JP300	5 V komunikační port	spojeno	
JP301	potenciometr odpojení	spojeno	
SPC58xx deska			
JP3	5 V	rozpojeno	
JP4	3,3 V	rozpojeno	
JP5	1,25 V	rozpojeno	
JP6	ADC	1-2.	1-2. 1.25 V SR

Tab. 6 Seznam přístrojů

Název přístroje	Produktová funkce	Sériové číslo	Inventární číslo
Hewlett packard 1146A	Proudová sonda	11JJ312217DV	66-005512
LeCroy AP015	Proudová sonda	2026	66-005531
Agilent 33250A	Generátor	MY40006523	66-000694
Agilent 33250A	Generátor	MY40006518	66-000700
Metex M-3660D	Digitální multimetr	CH853948	66-000673
Metex M-4660A	Digitální multimetr	EB 290120	66-003553



Metex M-4660A	Digitální multimetr	EB 290060	66-003554
Metex M-3660D	Digitální multimetr	CH854179	66-000698
Keithley DVM 2000	Lab. digitální multimetr	0982789	66-000740
Keithley DVM 2000	Lab. digitální multimetr	0956099	66-000751
Statron 2225.4	Lab. zdroj napětí	401004	66-000739
Statron 2229.5	Lab. zdroj napětí	4010012	66-000752
Statron 2225.6	Lab. zdroj napětí	401016	66-000759
Agilent MSO6054A	Osciloskop	MY44001357	66-003702
LeCroy WaveRunner 6050A	Osciloskop	LCRY0604P16381	66-003694
CTS	Teplotní testovací komora	200000000127	66-003635

Tab. 7 Varianty zapojení 1-6

Spojka	Varianta	1	2	3	4	5	6
	Regulátor 1	5 V	5 V	5 V	3,3 V	3,3 V	3,3 V
	Regulátor 2	BUCK 3,3 V	LDO 3,3 V	vypnuto	BUCK 5 V	LDO 5 V	vypnuto
	VADC	5 V	5 V	5 V	5 V	5 V	3,3 V
JP25	Regulátor 1	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	1-2.	1-2.	1-2.
JP4	VR1	1-2.	1-2.	1-2.	1-2.	1-2.	1-2.
JP26	Regulátor 2	1-2.	1-3.	0	1-2.	1-3.	0
JP12	VR2, FB2	1-2.	1-2.	1-3.	1-2.	1-2.	1-3.
JP18	FB	spojeno	spojeno	0	rozpojeno	rozpojeno	0
JP19	FB	rozpojeno	rozpojeno	0	spojeno	spojeno	0
JP6	LDO zkrat	rozpojeno	spojeno	0	rozpojeno	spojeno	0
JP27	VADC	1-3.	1-3.	1-3.	1-3.	1-3.	1-2.
JP10	HV	1-2.	1-2.	1-2.	1-3.	1-3.	1-2.
JP9	FLEX	1-3.	1-3.	1-2.	1-2.	1-2.	1-2.
JP3	5 V SR	1-2.	1-2.	1-2.	1-3.	1-3.	1-2.
JP7	3,3 V SR	1-3.	1-3.	není	1-2.	1-2.	1-2.
JP5	VS	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno
JP28	STBY	1-3.	1-3.	1-3.	1-3.	1-3.	1-3.



JP29	VADC	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno
JP1, JP2	Dioda filtr	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno
JP8	Wake	1-3.	1-3.	1-3.	1-3.	1-3.	1-3.
JP11	Externí Wake	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno
JP13, JP14	WD	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno
JP15, JP16	WD-long	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno
JP17	1,25 V FB	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno
JP20-24	RESN	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno
JP400,500,501	reset	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno
μC JP3,4,5	Napájecí	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno
μC JP6	μC	1-2.	1-2.	1-2.	1-2.	1-2.	1-2.

Tab. 8 Varianty zapojení 7-11

Spojka	Varianta	7	8	9	10	11	low pover
	Regulátor 1	vypnuto	vypnuto	vypnuto	vypnuto	vypnuto	BYPASS
	Regulátor 2	BUCK 5 V	LDO 5 V	BUCK 3,3 V	LDO 3,3 V	vypnuto	BYPASS
	VADC	5 V	5 V	3,3 V	3,3 V	vypnuto	vypnuto
JP25	Regulátor 1	1-2.	1-2.	1-2.	1-2.	1-2.	stejně 1-10
JP4	VR1	1-3.	1-3.	1-3.	1-3.	1-3.	stejně 1-10
JP26	Regulátor 2	1-2.	1-3.	1-2.	1-3.	0	stejně 1-10
JP12	VR2, FB2	1-2.	1-2.	1-2.	1-2.	1-3.	stejně 1-10
JP18	FB	rozpojeno	rozpojeno	spojeno	spojeno	0	stejně 1-10
JP19	FB	spojeno	spojeno	rozpojeno	rozpojeno	0	stejně 1-10



JP6	LDO zkrat	rozpojeno	spojeno	rozpojeno	spojeno	0	stejně 1-10
JP27	VADC	1-3.	1-3.	1-2.	1-2.	0	stejně 1-10
JP10	HV	1-3.	1-3.	1-3.	1-3.	0	stejně 1-10
JP9	FLEX	1-3.	1-3.	1-3.	1-3.	0	stejně 1-10
JP3	5 V SR	1-3.	1-3.	1-3.	1-3.	není	stejně 1-10
JP7	3,3 V SR	není	není	1-3.	1-3.	není	stejně 1-10
JP5	VS	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	rozpojeno	stejně 1-10
JP28	STBY	1-3.	1-3.	1-3.	1-3.	1-3.	1-2.
JP29	VADC	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	0	0
JP1, JP2	Dioda filtr	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno
JP8	Wake	1-3.	1-3.	1-3.	1-3.	1-3.	1-3.
JP11	Externí Wake	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno
JP13, JP14	WD	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno
JP15, JP16	WD-long	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno
JP17	1,25 V FB	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno
JP20-24	RESN	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno
JP400,500,501	reset	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno	spojeno
μC JP3,4,5	napájecí	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	rozpojeno	stejně 1-10
μC JP6	μC	1-2.	1-2.	1-2.	1-2.	1-2.	2-3.

Tab. 9 Dlouhodobé přepětí

Trvání zkoušky	60 min
Dlouhodobé vstupní napětí	17 V
Zkušební teplota	125 °C



μC módy	všechny
Napěťové varianty	2,8

Tab. 10 Dlouhodobé přepětí po 20 min

Pin	Spojka	DRUN	RUN0	RUN3	STOP	HALT	STANDBY
Varian ta		2	2	2	8	8	8
VS U (V)	J2	17,14	17,18	17,11	17,18	17,16	17,11
VDD1 U (V)	J3	5,012	5,056	5,054	0	0	0
VDD2 U (V)	J4	3,304	3,315	3,385	5,003	5,084	5,81
VADC U (V)	J5	5,002	5,005	5,009	5,004	5,001	5,008
VDD1 I (mA)	JP3	250,25	280,41	225,74	0	0	0
VDD2 I (mA)	JP7	180,87	224,45	194,1	84,74	93,85	78,72
VADC I (mA)	JP2 9	88,53	90,41	88,43	78,72	70,12	56,15
TWN	J14	5,004	5,001	5,001	5,001	5,002	5,004
REST	J11	0	0	0	0	0	0

Tab. 11 Dlouhodobé přepětí po 40 min

Pin	Spojka	DRUN	RUN0	RUN3	STOP	HALT	STANDBY
Variant a		2	2	2	8	8	8
VS U (V)	J2	17,17	17,14	17,18	17,14	17,11	17,17



VDD1 U (V)	J3	5,019	5,067	5,084	0	0	0
VDD2 U (V)	J4	3,315	3,324	3,32	5,045	5,094	5,87
VADC U (V)	J5	5,005	5,012	5,015	5,08	5,005	5,013
VDD1 I (mA)	JP3	261,76	285,68	229,41	0	0	0
VDD2 I (mA)	JP7	184,36	229,64	198,74	87,78	99,25	81,86
VADC I (mA)	JP2 9	90,2	92,54	91,25	80,74	72,43	58,15
TWN	J14	5,008	5,002	5,002	5,002	5,004	5,008
REST	J11	0	0	0	0	0	0

Tab. 12 Dlouhodobé přepětí po 60 min

Pin	Spo jka	DRUN	RUN0	RUN3	STOP	HALT	STANDBY
Variant a		2	2	2	8	8	8
VS U (V)	J2	17,19	17,18	17,17	17,11	17,18	17,14
VDD1 U (V)	J3	5,032	5,087	5,097	0	0	0
VDD2 U (V)	J4	3,319	3,331	3,321	5,12	5,014	5,021
VADC U (V)	J5	5,007	5,012	5,016	5,09	5,006	5,014
VDD1 I (mA)	JP3	267,89	289,19	235,43	0	0	0
VDD2 I (mA)	JP7	186,47	234,17	201,2	90,87	103,96	88,84

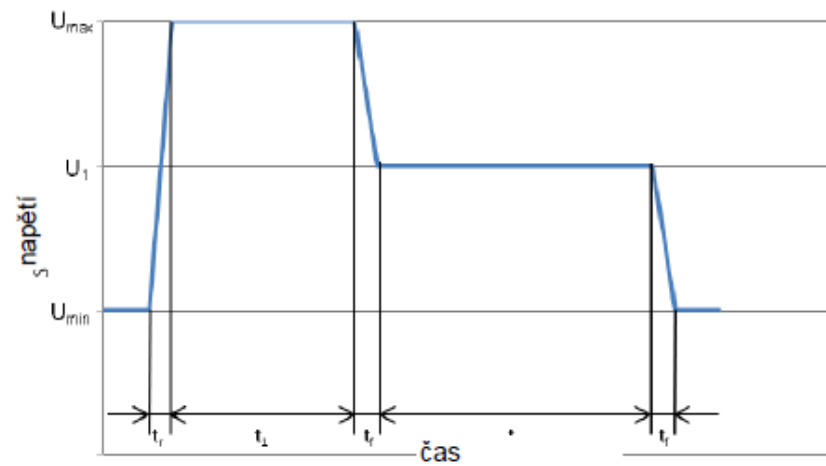


VADC	JP2	88,36	95,41	92,25	83,74	73,54	59,31
I (mA)	9						
TWN	J14	5,01	5,001	5,004	5,007	5,012	5,008
REST	J11	0	0	0	0	0	0

Tab. 13 Přechodné přepětí

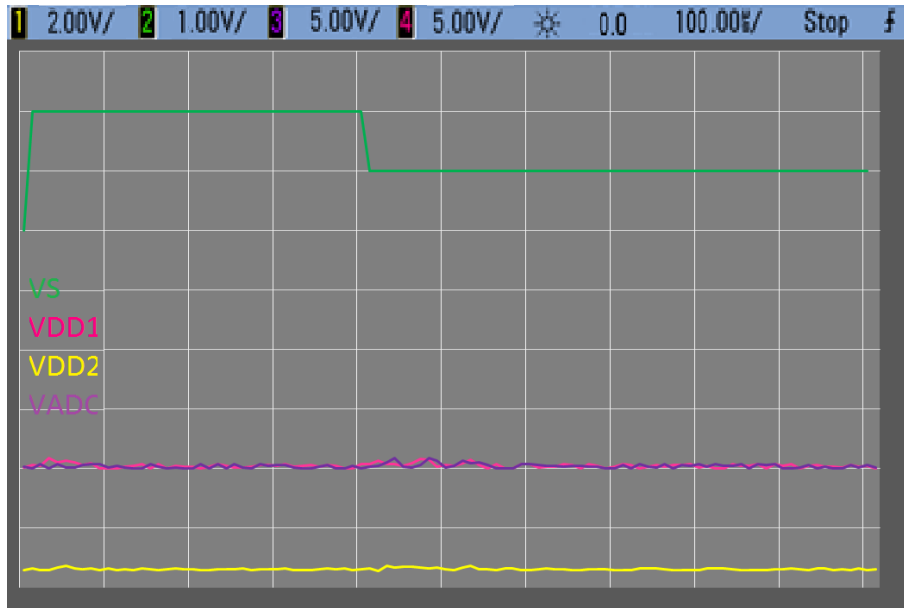
U_{min}	16 V
U_1	17 V
U_{max}	18 V
t_r	1 ms
t_f	1 ms
t_1	400 ms
t_2	600 ms
Zkušební teplota	125 °C
μC módy	všechny
Napěťové varianty	2,8

Obr. 11 Zkušební impuls přechodné přepětí (převzato z [23])





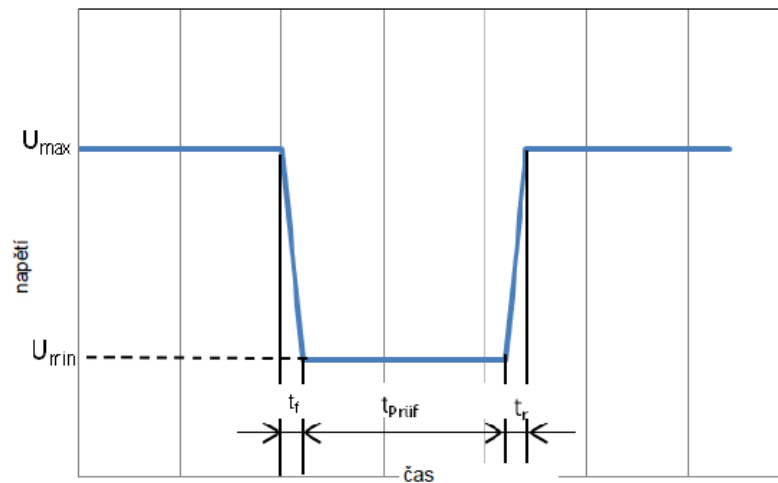
Obr. 12 Přebodné přepětí měření



Tab. 14 Přebodné podpětí

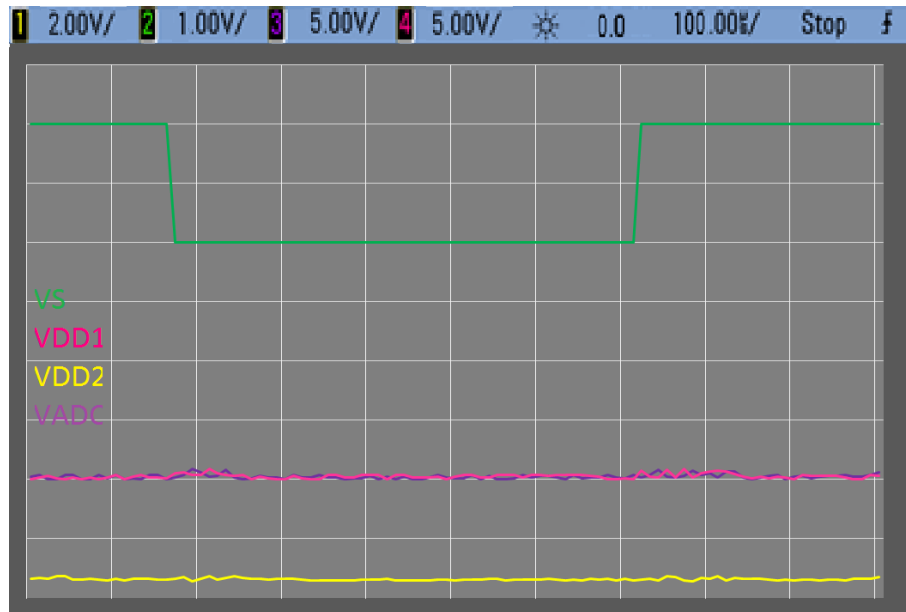
U_{max}	11 V
U_{min}	9 V
t_r	2 ms
t_f	2 ms
$t_{přif}$	500 ms
Zkušební teplota	125 °C
μC módy	DRUN
Napěťové varianty	2

Obr. 13 Zkušební impulz přebodné podpětí (převzato z [23])





Obr. 14 Přebodné podpětí měření

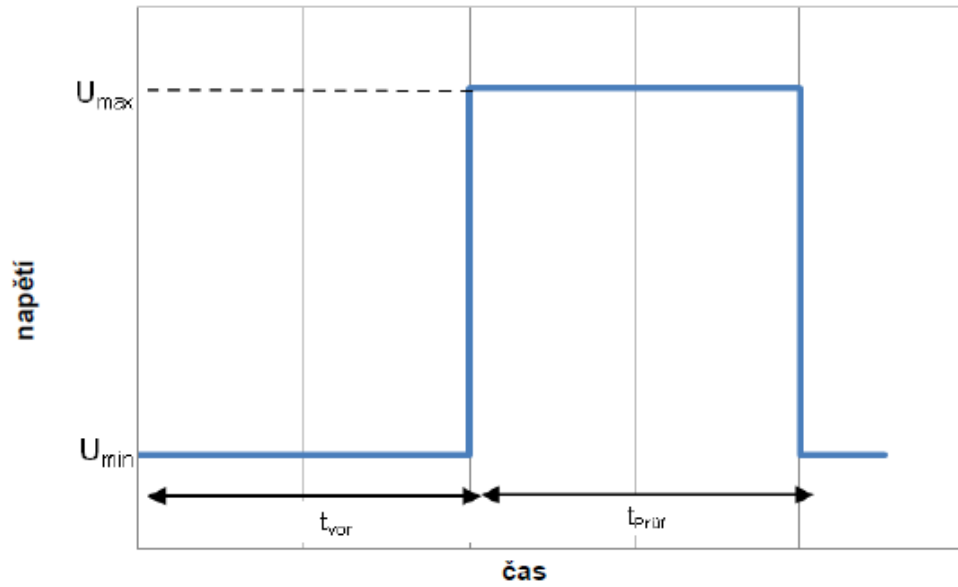


Tab. 15 Rychlý start

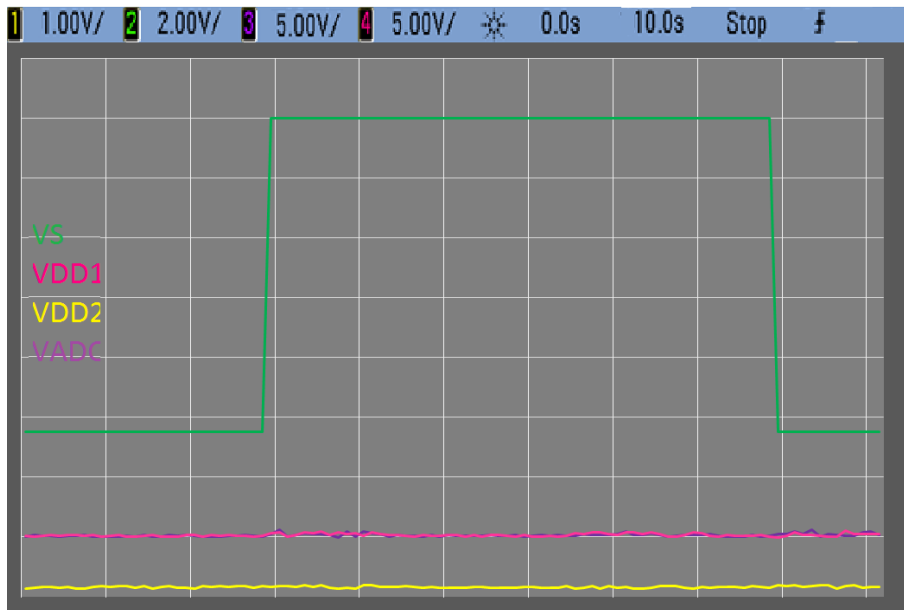
U_{\min}	13,5 V
U_{\max}	23 V
t_{vor}	60 s
$t_{\text{průf}}$	60 s
Zkušební teplota	125 °C
μC módy	RUN0
Napětíové varianty	1



Obr. 15 Zkušební impulz rychlý start (převzato z [23])



Obr. 16 Rychlý start měření



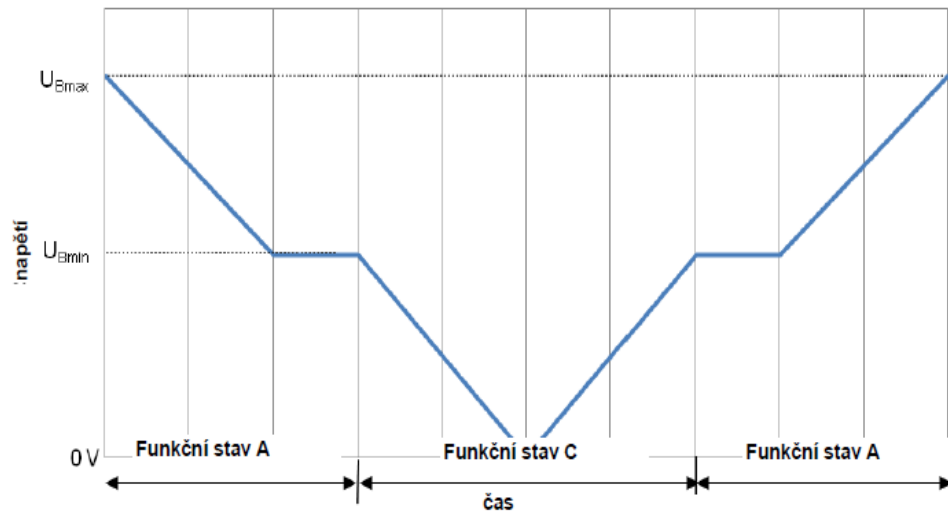
Tab. 16 Pomalý pokles a vzestup napájecího napětí

Startovací napětí U_{Bmax}	20 V
ΔU za minutu	0,5 V
Výdržné napětí	12 V

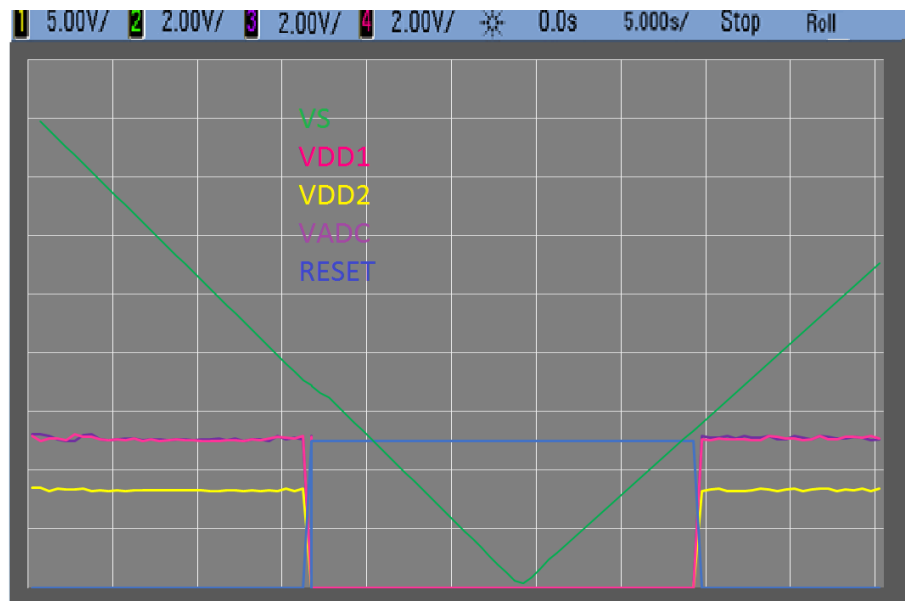


Minimální napětí	0 V
Koncové napětí U_{Bmax}	20 V
Zkušební teplota	125 °C
μC módy	DRUN
Napěťové varianty	2

Obr. 17 Zkušební impuls pomalý pokles a vzestup napájecího napětí (převzato z [23])



Obr. 18 Pokles a vzestup měření

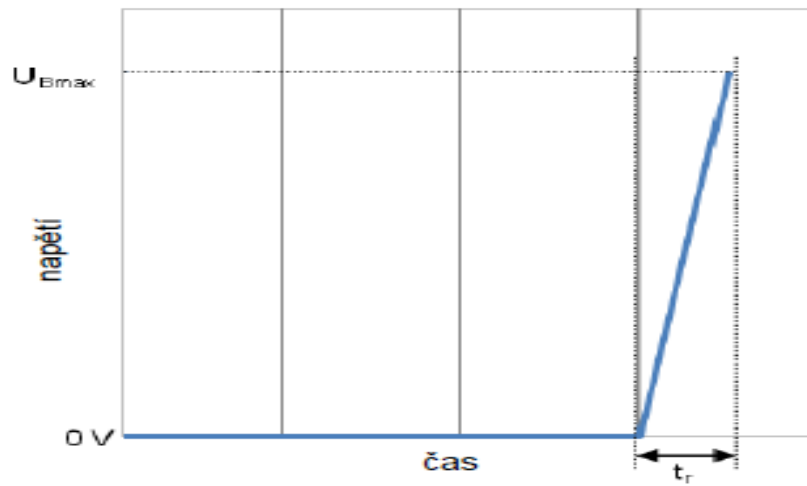




Tab. 17 Rychlý vzestup napájecího napětí

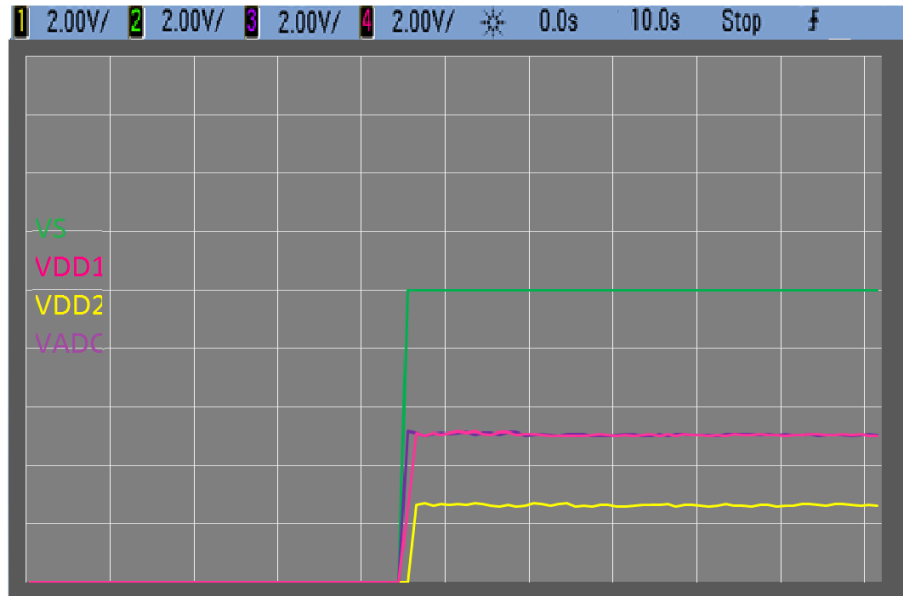
Startovací napětí	0 V
Koncové napětí	20 V
t_r	$\leq 0,5$ s
Zkušební teplota	125 °C
μ C módy	DRUN
Napěťové varianty	2

Obr. 19 Zkušební impulz rychlý vzestup napájecího napětí (převzato z [23])





Obr. 20 Rychlý vzestup měření

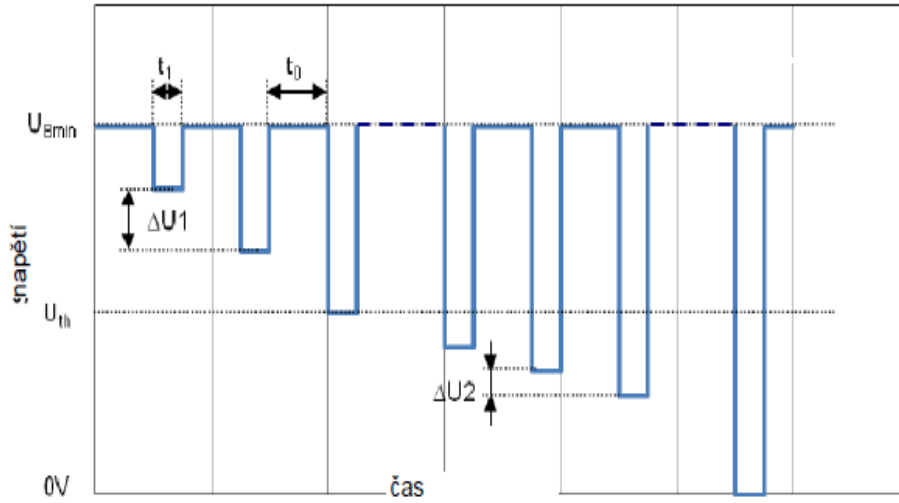


Tab. 18 Resetovací vlastnosti

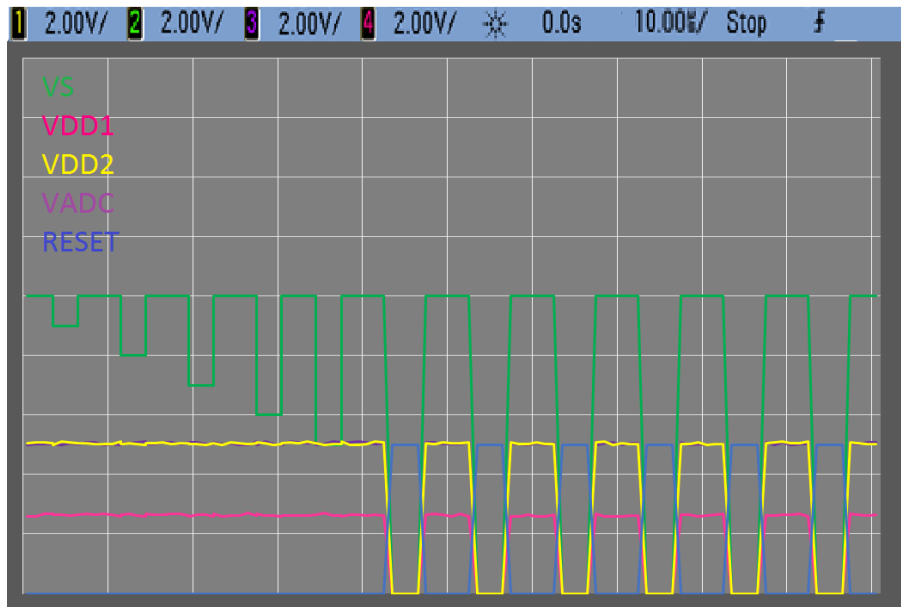
U_{Bmin}	10 V
$\Delta U1$ (rozsah 10 V až 5 V)	1 V
$\Delta U2$ (rozsah 5 V až 0 V)	0,5V
t_1	2 ms
t_0	5 ms
Doba náběhu/poklesu	≤ 100 ms
Zkušební teplota	125 °C
μC módy	RUN3
Napěťové varianty	5



Obr. 21 Zkušební impuls resetovací vlastnosti (převzato z [23])



Obr. 22 Resetovací vlastnosti měření

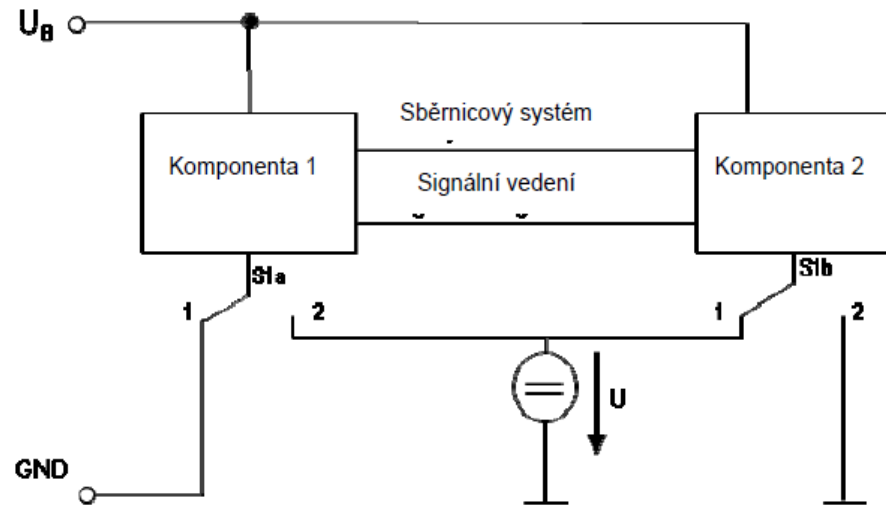


Tab. 19 Změna potenciálů kostry

Zdroj napětí U_b	1 V
Zkušební teplota	125 °C
μ C módy	DRUN
Napěťové varianty	2



Obr. 23 Schematické zapojení výkyv kostry (převzato z [23])



Tab. 20 Změna potenciálů kostry měření

Pin	Spojka	DRUN Varianta 2
VS U (V)	J2	17,05
VDD1 U (V)	J3	5,113
VDD2 U (V)	J4	3,002
VADC U (V)	J5	5,011
VR1 (V)	JP4	5,113
VR2 (V)	JP12	3,002
VDD1 I (mA)	JP3	328,52
VDD2 I (mA)	JP7	117,4
VADC I (mA)	JP29	81,31
TWN	J14	5,102
REST	J11	0



Tab. 21 Přerušení kolíků a konektorů

Test	Každou spojku (konektor) je nutno na 10 s vytáhnout a opět přiložit (pomalý interval)
Zkušební teplota	25 °C
μC módy	DRUN
Napěťové úrovně	2

Tab. 22 Seznam spojek a konektorů

Spojky	Místo použití
ARC	ARC
CON	Napájecí konektor
JP3	5 V SR
JP4	VDD1 VR1
JP5	VS
JP6	VDD2 LDO
JP7	3,3 V SR
JP8	WAKE z VS
JP9	FLEX
JP10	MAIN
JP11	WAKE externí
JP12	VDD2 VR2
JP13	WD vypnutí
JP18	FB-3,3 V
JP25	VDD1
JP26	VDD2
JP27	VADC

Tab. 23 Přerušení kolíků a konektorů měření

Spojky	Místo použití	Funkčnost po obnovení
ARC	ARC	OK
CON	Napájecí konektor	OK
JP3	5 V SR	OK
JP4	VDD1 VR1	OK
JP5	VS	OK
JP6	VDD2 LDO	OK



JP7	3,3 V SR	OK
JP8	WAKE z VS	OK
JP9	FLEX	OK
JP10	MAIN	OK
JP11	WAKE externí	OK
JP12	VDD2 VR2	OK
JP13	WD vypnutí	OK
JP18	FB-3,3 V	OK
JP25	VDD1	OK
JP26	VDD2	OK
JP27	VADC	OK

Tab. 24 Měření jednotlivých pinů

Zdroj napětí	12 V
Zkušební teplota	25 °C
Spojky	CONF1,2
μC módy	DRUN
Napěťové úrovně	2

Tab. 25 Výsledky měření jednotlivých pinů

Pin	Spojka	DRUN Varianta 2
VS (V)	J2	17,08
VDD1 (V)	J3	5,021
VDD2 (V)	J4	0
VADC (V)	J5	0
VDD1 (mA)	JP3	231,24
VDD2 (mA)	JP7	0
VADC (mA)	JP29	0
TWN (V)	J14	5,01
REST	J11	0



Tab. 26 Záměna pólů

Zkušební teplota	25 °C
μC módy	DRUN
Napěťové úrovně	2

Tab. 27 Záměna pólů výsledky

Pin	Spojka	DRUN Varianta 2
VS U (V)	J2	17,24
VDD1 U (V)	J3	0
VDD2 U (V)	J4	0
VADC U (V)	J5	0
VDD1 I (mA)	JP3	0
VDD2 I (mA)	JP7	0
VADC I (mA)	JP29	0
TWN	J14	0
REST	J11	0

Tab. 28 Zkouška napájecího napětí

Zdroj napětí	12 V
Zkušební teplota	25 °C
μC módy	všechny
Napěťové úrovně	všechny

Tab. 29 Zkouška napájecího napětí varianty 1-6

Pin	DRUN	RUN0	RUN3	STOP	RUN3	RUN0
Variant a	1	2	3	4	5	6
VS U (V)	17,01	17,05	17,15	17,12	17,07	17,17
VDD1 U (V)	5,041	5,052	5,08	3,301	3,302	3,314



VDD2 U (V)	3,311	3,308	0	5,04	5,12	0
VADC U (V)	5,041	5,085	5,084	5,103	5,08	3,317
VDD1 I (mA)	362,28	380,85	225,41	0,578	370,11	374,45
VDD2 I (mA)	118,63	172,74	0	80,58	125,12	120,35
VADC I (mA)	87	88	76	30	87	89
TWN	5,041	5,050	5,042	5,050	5,041	5,042
REST	0	0	0	0	0	0

Tab. 30 Zkouška napájecího napětí varianty 7-11

Varianta	HALT	STANDBY	DRUN	STOP	DRUN
VS U (V)	7	8	9	10	11
VDD1 U (V)	17,26	17,15	17,2	17,15	17,16
VDD2 U (V)	0	0	0	0	0
VADC U (V)	5,021	5,032	3,301	3,302	0
VDD1 I (mA)	258,11	175,54	357,75	165,82	0
VDD2 I (mA)	0	0	0	0	0
VADC I (mA)	103,12	62,25	87,87	45,94	0
TWN	5,042	5,060	5,047	5,021	0
REST	0	0	0	0	0