

**Fakulta elektrotechnická
Regionální inovační centrum elektrotechniky**

Analýza a ověření chování VPM modulu

Pracoviště: Regionální inovační centrum elektrotechniky
Číslo dokumentu: 22190-003-2018
Typ zprávy: Výzkumný
Řešitelé: Ing. Tomáš Glasberger, Ph.D., Ing. Jan Molnár, Ph.D.,
prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
Hlavní řešitel: prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
Počet stran: 15
Datum vydání: 21.03.2018
Oborové zařazení: JA – Electronics and optoelectronics

Zadavatel / zákazník:

Zpracovatel / dodavatel:

Západočeská univerzita v Plzni
Regionální inovační centrum elektrotechniky
Univerzitní 8
306 14 Plzeň

Kontaktní osoba:

Ing. Tomáš Glasberger, Ph.D.
tel. 377 634 442
tglasber@rice.zcu.cz

Tato zpráva vznikla s finanční podporou TAČR v rámci projektu TE02000103 (CIDAM)
a s podporou projektu SGS-2018-009.

Seznam symbolů a zkratk

VPM	Voltage protection module - modul ochrany proti přepětí
n	otáčky
U_{dc}	napětí meziobvodu hlavního měniče
U_{vpm}	napětí meziobvodu VPM modulu
U_s	sdružené napětí

Obsah

1 Úvod	4
2 Principiální výkonové schéma pro popis funkce	4
3 Simulace	4
4 Experimentální ověření funkce VPM	11
5 Závěr	13

Abstrakt

Ve zprávě je analyzována funkce bezpečnostního modulu Siemens VPM (Voltage protection module), který se instaluje k ochraně frekvenčních měničů, které napájí pohony se synchronními motory s permanentními magnety u obráběcích strojů výrobce ŠKODA MACHINE TOOL a.s.

Klíčová slova

Přepětový modul; elektrický pohon; obráběcí stroj

Abstract

This report introduces analysis of safety function of a Voltage protection module manufactured by Siemens which is installed for overvoltage protection of frequency converters in machine tools manufactured by ŠKODA MACHINE TOOL a.s.

Keywords

voltage protection module; electric drive; machine tool

1 Úvod

V případě, že dojde k vypnutí (resp. zablokování pulzů na tranzistory) hlavního frekvenčního měniče, který napájí synchronní motor s permanentními magnety, může indukované napětí, které se objeví na svorkách motoru, přesáhnout dle konfigurace a parametrů stroje špičkové sdružené napětí 2 kV, což by mohlo mít pro frekvenční měnič nebo další komponenty fatální důsledky.

2 Principiální výkonové schéma pro popis funkce

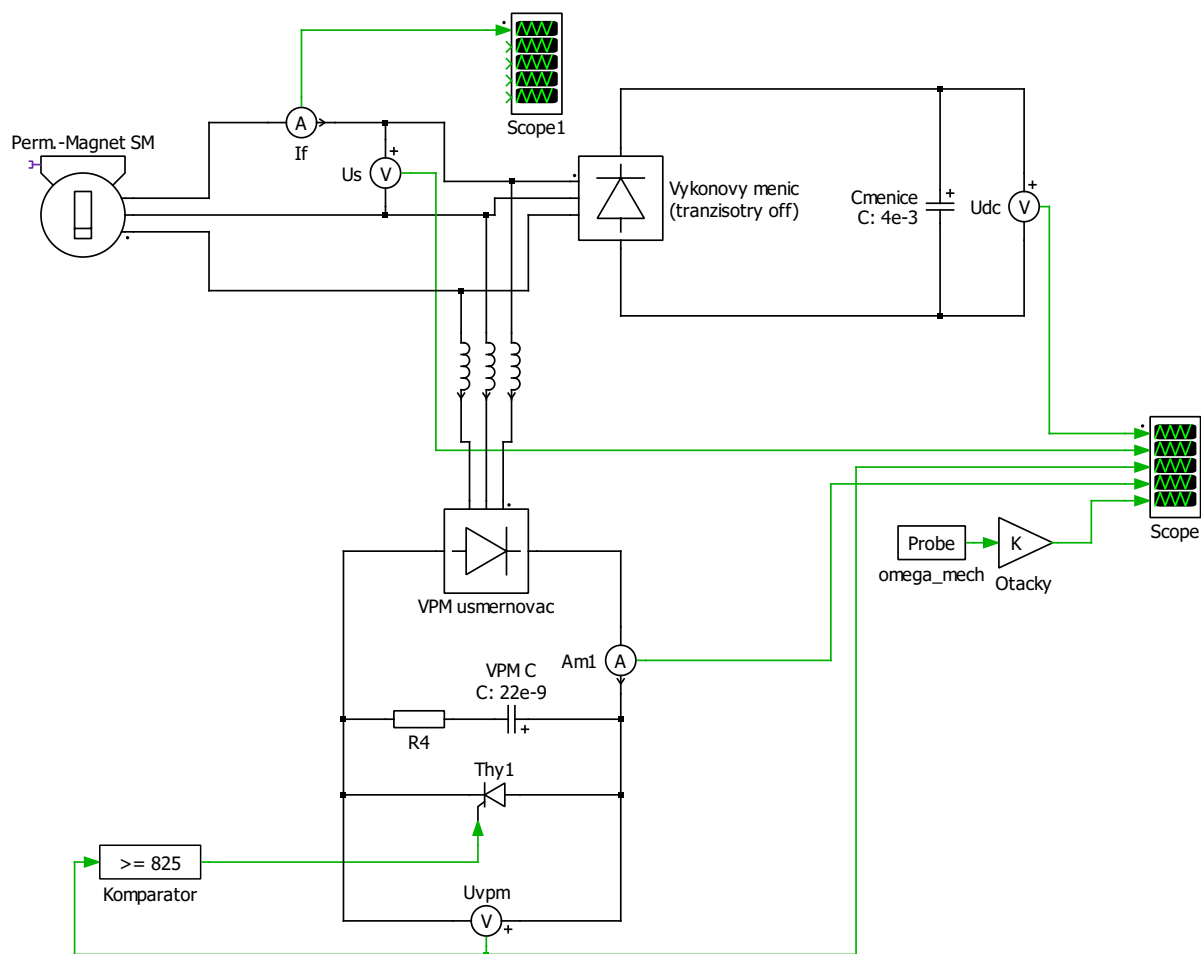
Principiální schéma modulu a jeho zapojení do výkonového obvodu je uvedeno na obrázku 2.1. VPM modul sestává z diodového usměrňovače *VPM usmernovac* s tlumivkami, kondenzátoru *VPM C* a tyristoru *Thy1*. Tyristor je spouštěn pomocí výstupu *Komparator*. Výkonový obvod pohonu je simulován modelem motoru *Perm-Magnet SM* a polovodičového měniče *Vykonovy menic*. s meziobvodem *Cmenice*.

Funkce obvodu je následující: Předpokládá se nejprve bezporuchový stav, motor se točí definovanými otáčkami. Jakmile dojde z nějakého důvodu (poruchy) k vypnutí spínacích pulzů na tranzistory měniče, tak se roztočený motor mění na zdroj indukovaného napětí o velikosti dané napětovou konstantou motoru a otáčkami. Napětí v obvodu U_s začne narůstat. Díky zvýšenému napětí začne téct proud z motoru do stejnosměrného meziobvodu *Cmenice* hlavního měniče a začne ho nabíjet/přebíjet. Rychlost nabíjení je dána zejména kapacitou tohoto kondenzátoru. Podobně se nabíjí i kondenzátor *VPM C*. V případě, že napětí na tomto kondenzátoru U_{vpm} přesáhne stanovenou mez (*Komparator*), dojde k sepnutí zkratovacího tyristoru *Thy1*. Tím se zkratuje meziobvod VPM modulu a přes diodový usměrňovač *VPM usmernovac* i vinutí stroje. Napětí na svorkách motoru v důsledku úbytku na statorové impedanci prudce poklesne, čímž se ochrání zejména hlavní měnič.

3 Simulace

Simulace pouze ověřují předpokládanou funkci modulu. Skutečnost se může lišit z důvodu, že jeho funkci nelze vzhledem k jeho uzavřenosti přesně modelovat.

Parametry simulovaného systému jsou uvedeny v tabulce 3.1.



Obr. 2.1: Simulační schéma VPM modulu a jeho zapojení do výkonového obvodu pohonu.

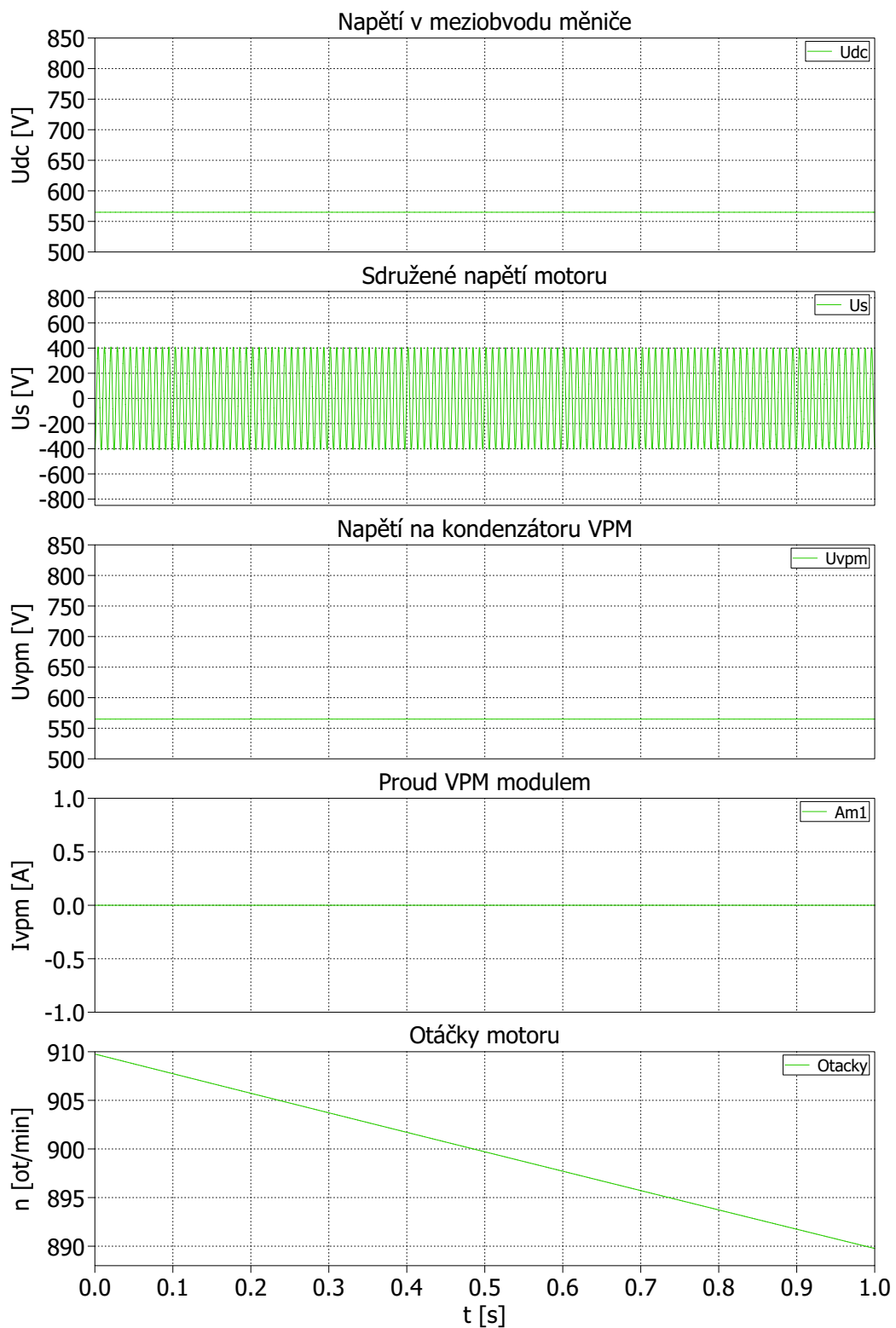
Tab. 3.1: Parametry simulovaného systému.

Odpor statorového vinutí motoru	$0,055 \Omega$
Indukčnost statorového vinutí motoru	$1,6 \text{ mH}$
Napěťová konstanta	$258 \text{ V}/1000 \text{ min}^{-1}$
Jmenovité otáčky	910 min^{-1}
Počet pólů	8
Moment setrvačnosti	$0,45 \text{ kg.m}^2$
Kapacita meziobvodu	4 mF
Kapacita meziobvodu VPM	$22 \cdot 10^{-9} \text{ F}$

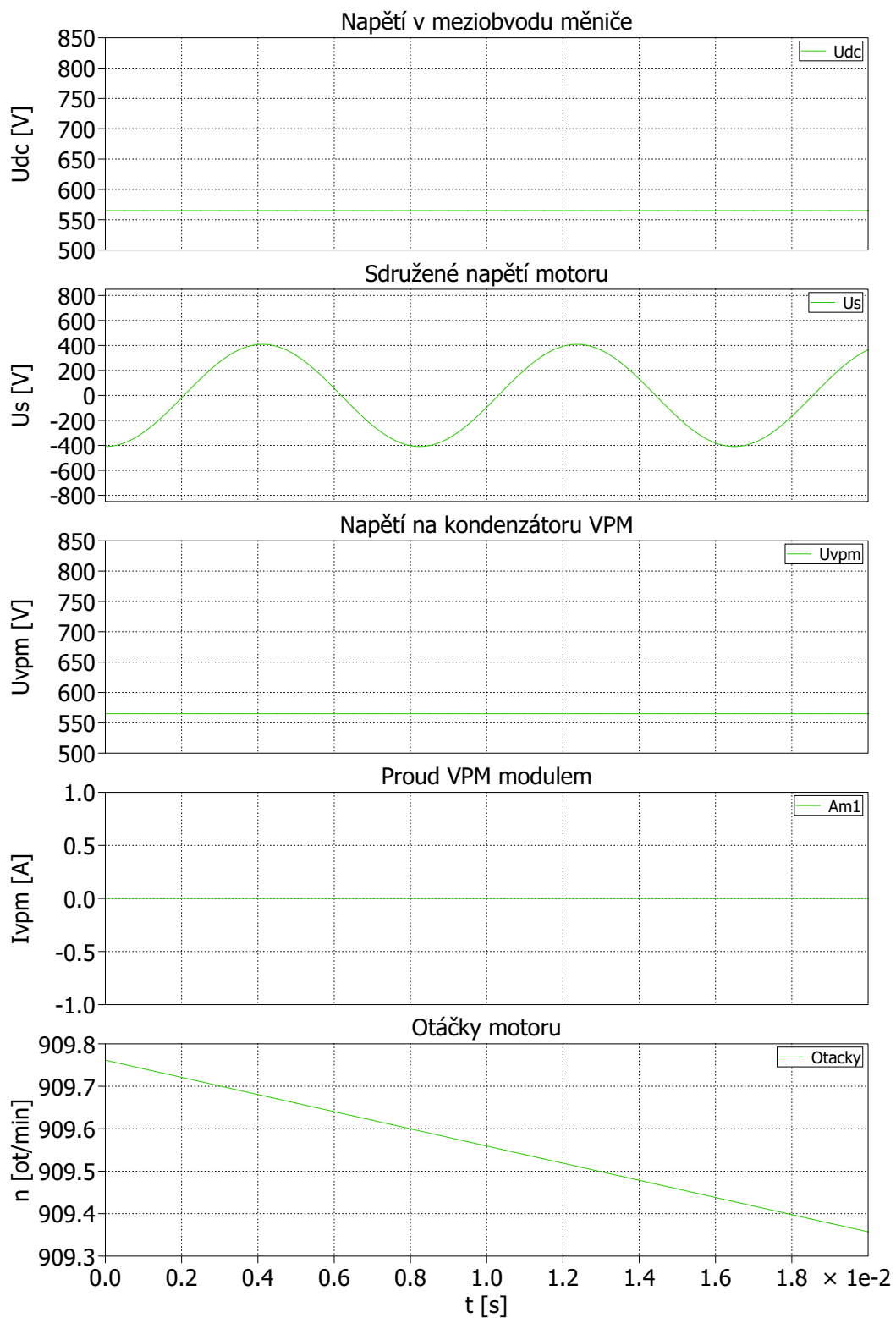
Na obr. 3.1 je vidět průběh napětí na kondenzátoru stejnosměrného meziobvodu výkonového měniče, sdružené napětí motoru, napětí na kondenzátoru VPM modulu a proud tímto modulem,

na posledním grafu jsou otáčky motoru pro případ, kdy v čase $t = 0$ dojde k zablokování měniče při jmenovitých otáčkách stroje ($n = 910 \text{ min}^{-1}$). Na obr. 3.2 je detail tohoto přechodového děje. Důležitý je průběh napětí v meziobvodu hlavního měniče a VPM modulu. Je vidět, že indukované napětí nepřesáhne při těchto otáčkách stanovenou mez, ani napětí v meziobvodu hlavního měniče, a nedojde tedy k aktivaci VPM.

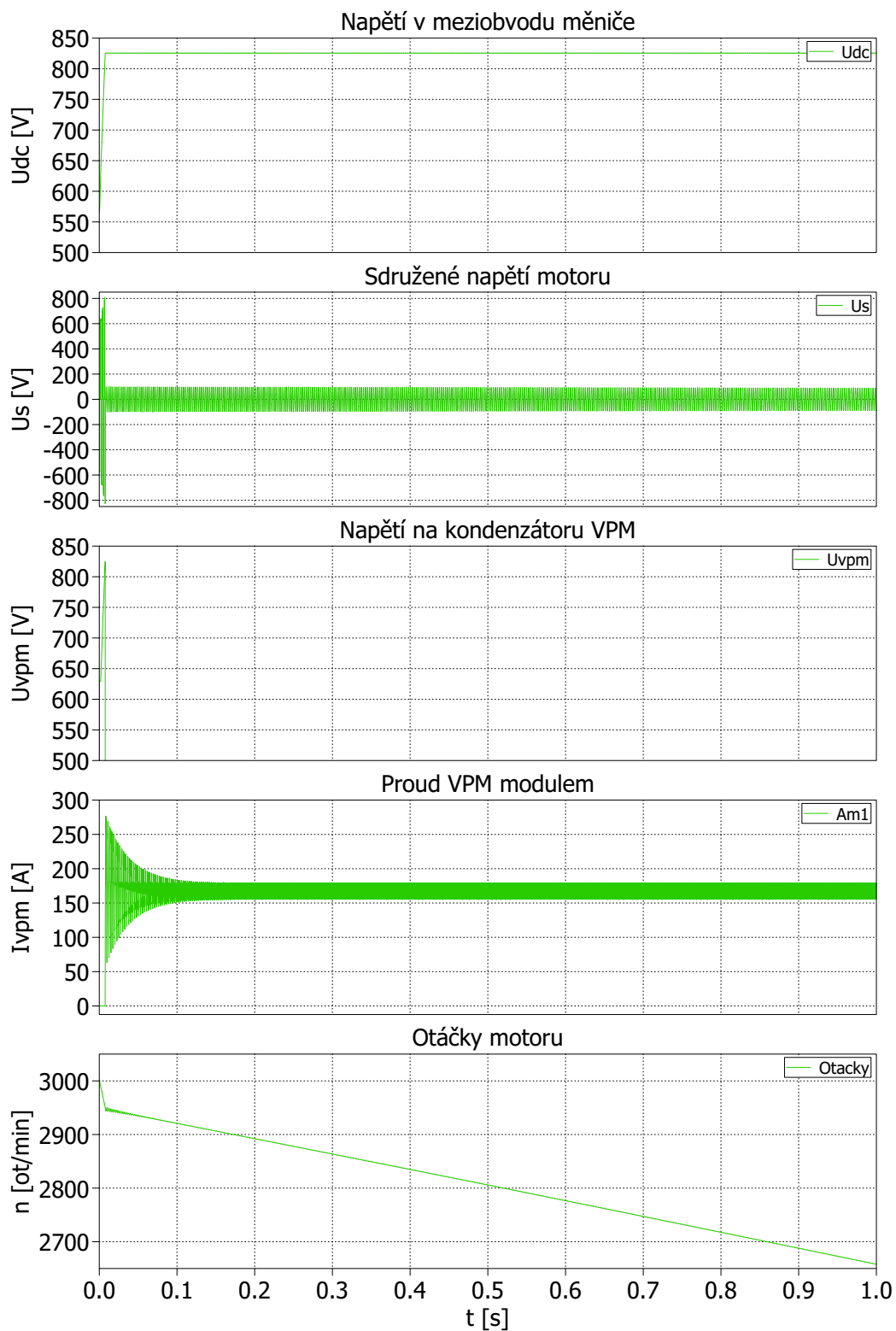
Jiná situace je při vysokých otáčkách, v případě na obr. 3.3 a 3.4 šlo o simulaci stavu při $n = 3000 \text{ min}^{-1}$. V detailu je vidět, že v případě zablokování měniče dochází k nárůstu napětí ve VPM modulu i napětí v meziobvodu hlavního měniče. Jakmile dosáhne napětí VPM modulu úrovně 825 V , dojde k sepnutí zkratovacího tyristoru *Thy1*.



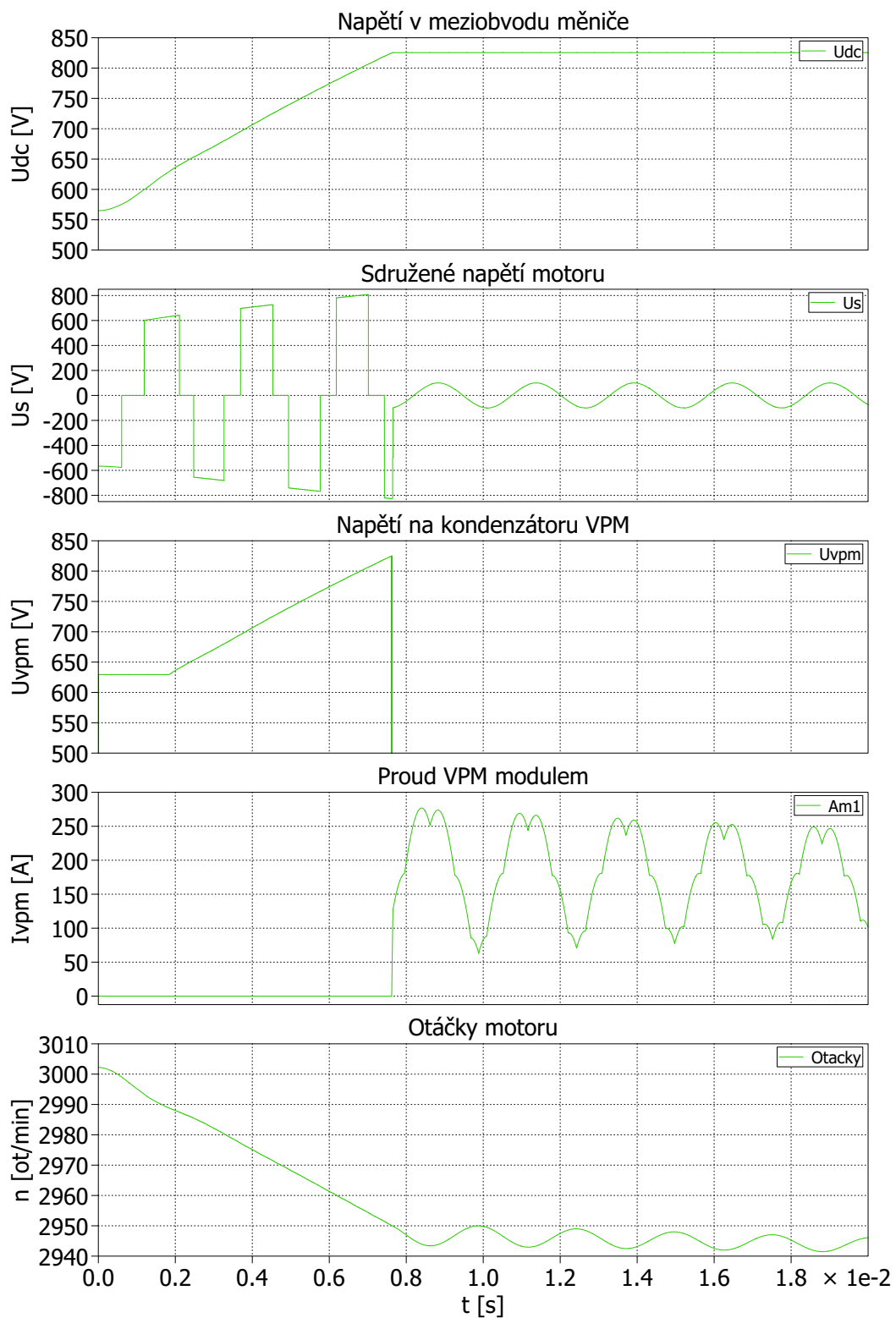
Obr. 3.1: Simulace obvodu při jmenovitých otáčkách $n = 910 \text{ min}^{-1}$.



Obr. 3.2: Simulace obvodu při jmenovitých otáčkách $n = 910 \text{ min}^{-1}$ – detail.



Obr. 3.3: Simulace obvodu při jmenovitých otáčkách $n = 3000 \text{ min}^{-1}$.



Obr. 3.4: Simulace obvodu při otáčkách $n = 3000 \text{ min}^{-1}$ – detail.

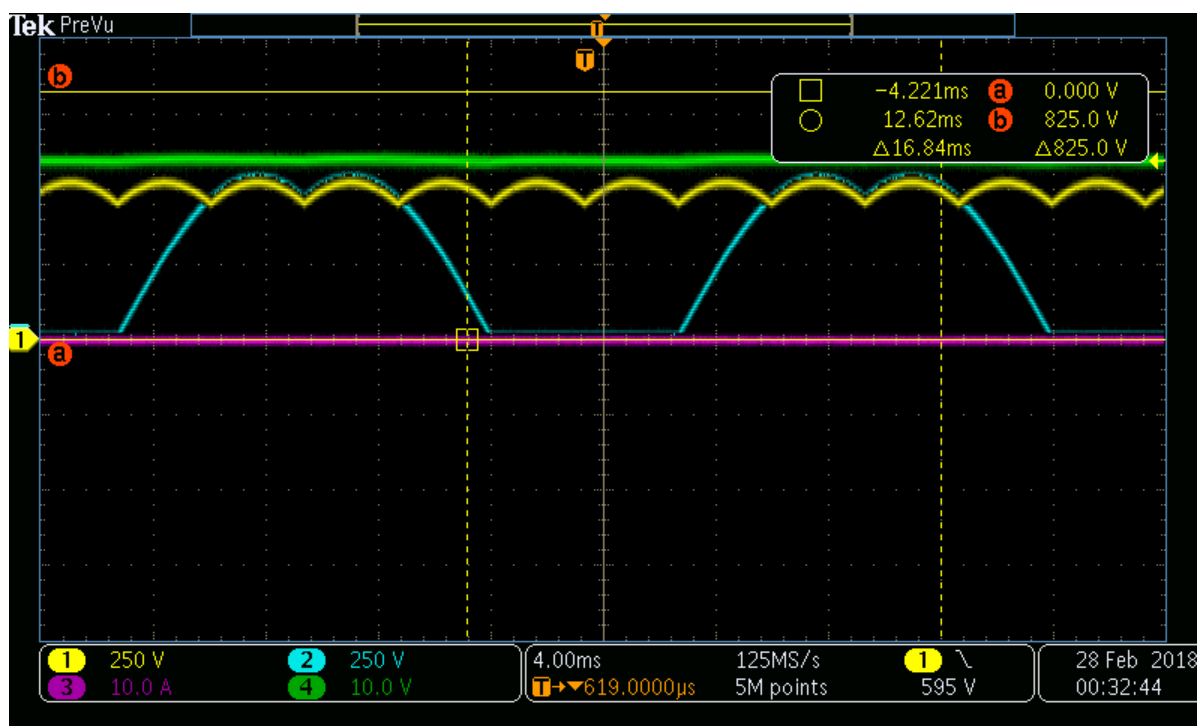
4 Experimentální ověření funkce VPM

Funkce VPM byla ověřena experimentálně za zjednodušených provozních podmínek. Motor byl modelován pomocí výkonového říditelného zdroje střídavého napětí. Kvůli omezení zkratového proudu a ochraně tohoto zdroje byly do obvodu zařazeny ještě výkonové rezistory. V obvodu také nebyl hlavní frekvenční měnič.

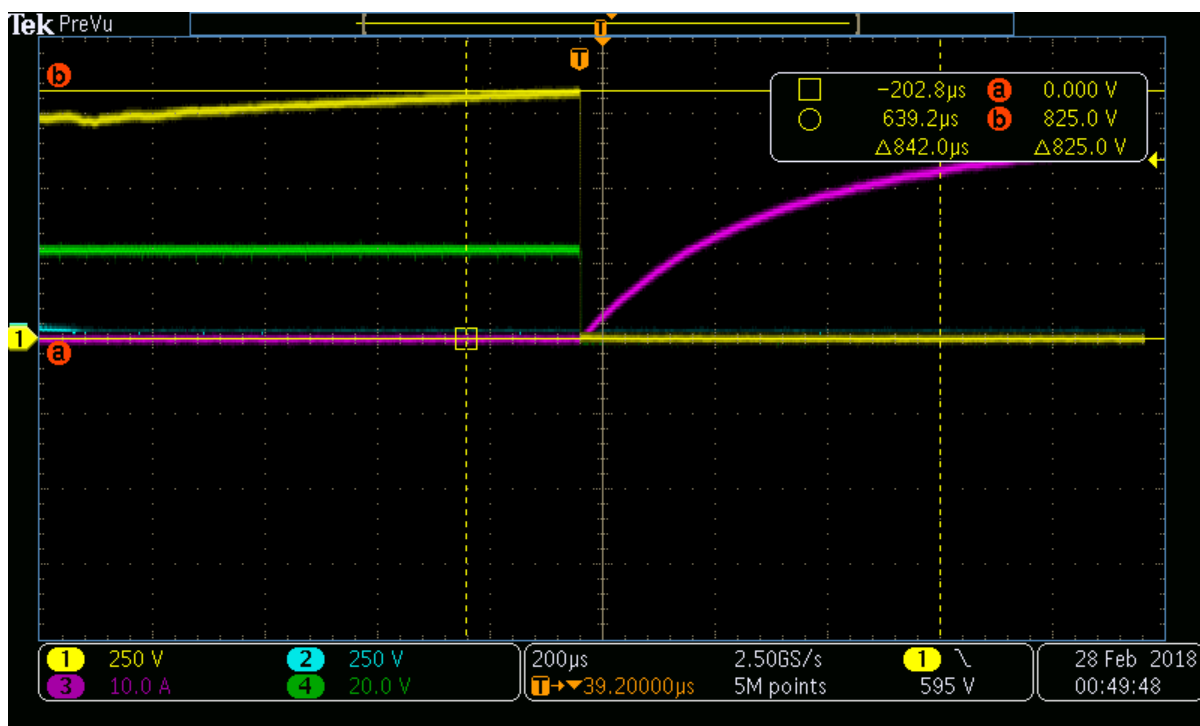
Provoz v bezporuchovém stavu je uveden na obr. 4.1. Žlutá křivka představuje napětí na kondenzátoru VPM modulu, světle modrá je vstupní napětí v jedné fázi proti zápornému potenciálu kondenzátoru, fialová je proud touto fází, zelená představuje interní (zřejmě komparační) signál VPM modulu.

Na obr. 4.2 je zachycen přechodový jev, při kterém dochází k pozvolnému nárůstu napětí na kondenzátoru VPM modulu. Při překročení hranice 825 V dojde k sepnutí tyristoru a zkratování systému, které se projeví značným nárůstem proudu a téměř skokovým snížením napětí na kondenzátoru. Podobný přechodový jev, ale se skokovou změnou napětí je na obr. 4.3.

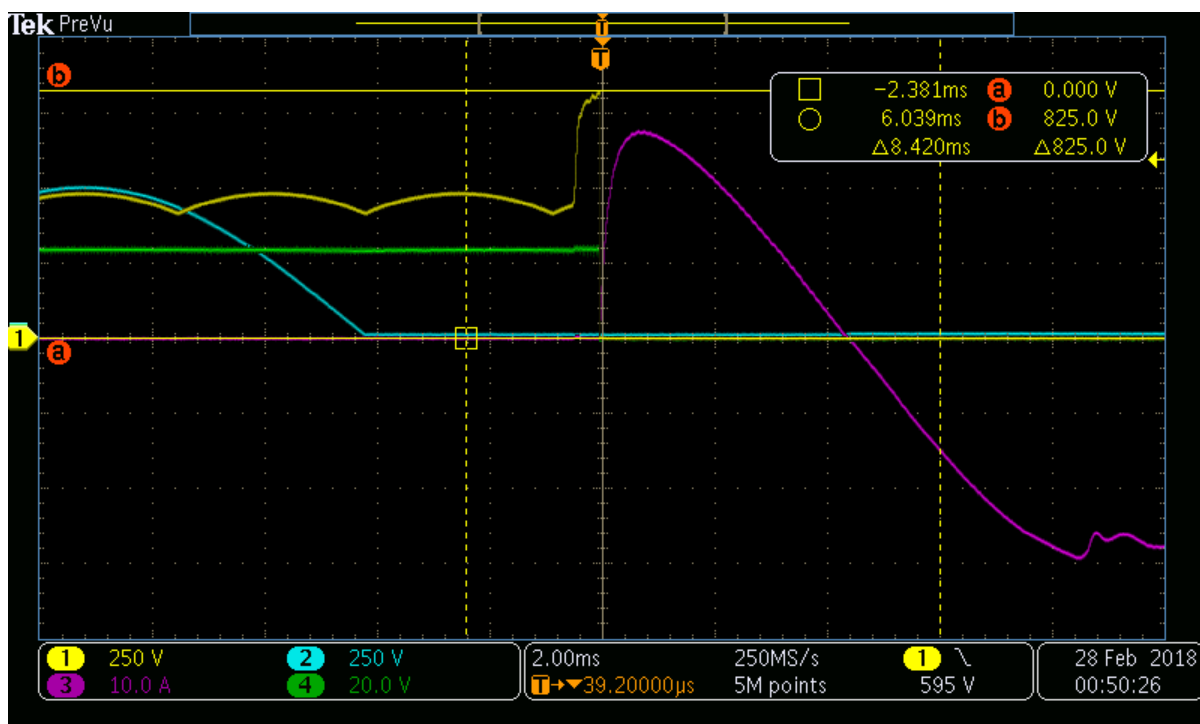
Dynamika spínání tyristoru je zobrazena na obr. 4.4. Je vidět, že tyristor sepne do plně otevřeného stavu za cca $1\ \mu\text{s}$, což je z hlediska ostatních dějů probíhajících v obvodu plně dostačující.



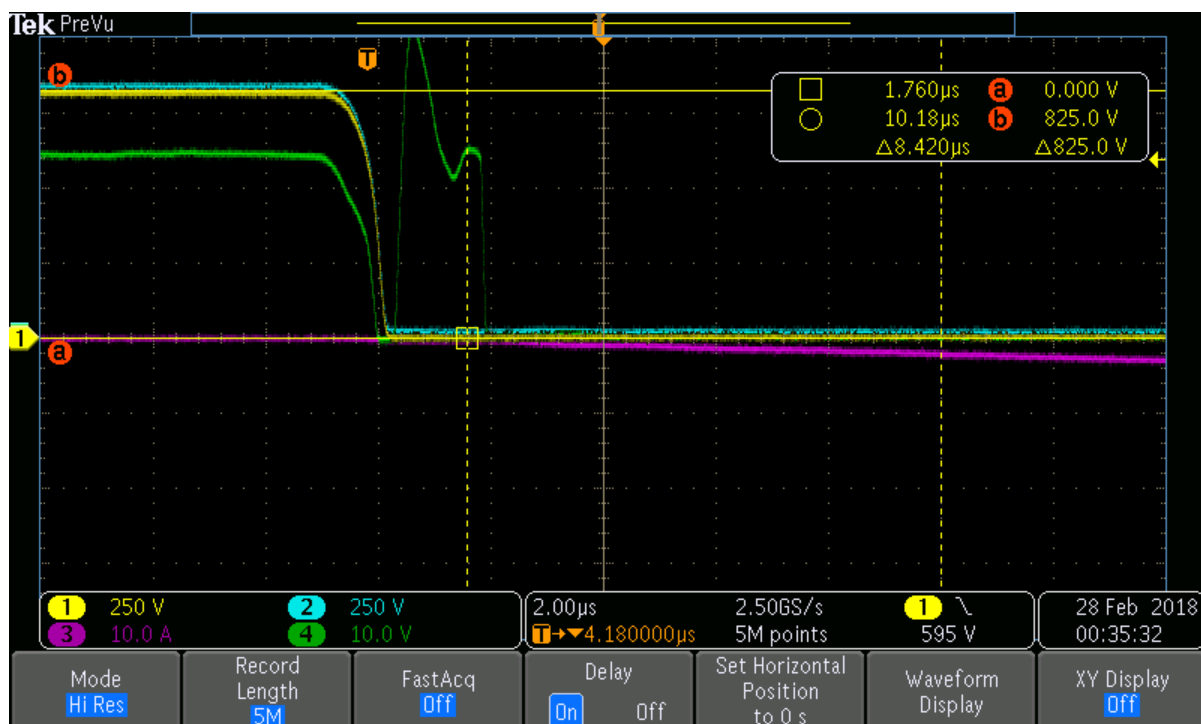
Obr. 4.1: Provoz VPM v bezporuchovém stavu. Žlutá: napětí na kondenzátoru VPM modulu, světle modrá: vstupní napětí v jedné fázi usměrňovače proti zápornému pólu kondenzátoru, fialová: proud touto fází, zelená: interní (zřejmě komparační) signál VPM modulu.



Obr. 4.2: Provoz VPM při pozvolném nárůstu napětí na stanovenou mez . Žlutá: napětí na kondenzátoru VPM modulu, světle modrá: vstupní napětí v jedné fázi usměrňovače proti zápornému pólu kondenzátoru, fialová: proud touto fází, zelená: interní (zřejmě komparační) signál VPM modulu.



Obr. 4.3: Provoz VPM při skokovém nárůstu napětí na stanovenou mez . Žlutá: napětí na kondenzátoru VPM modulu, světle modrá: vstupní napětí v jedné fázi usměrňovače proti zápornému pólu kondenzátoru, fialová: proud touto fází, zelená: interní (zřejmě komparační) signál VPM modulu.



Obr. 4.4: Provoz VPM při skokovém nárůstu napětí na stanovenou mez . Žlutá: napětí na kondenzátoru VPM modulu, světle modrá: vstupní napětí v jedné fázi usměrňovače proti zápornému pólu kondenzátoru, fialová: proud touto fází, zelená: interní (zřejmě komparační) signál VPM modulu.

5 Závěr

Zpráva popisuje princip funkce Voltage protection module, který se instaluje jako ochranný prvek do výkonového obvodu pohonu včetně obráběcího stroje. Vřeteno je poháněno synchronním motorem s permanentními magnety, což může v případě poruchy ve vysokých otáčkách způsobit zničení komponent obvodu z důvodu průrazu elektrickým napětím.

Jak bylo ukázáno pomocí simulace a měření, k vybavení VPM při poruše v obvodu hlavního měniče dojde velmi rychle, takže nedojde k nebezpečnému nárůstu napětí. Experiment ukázal, že zkratovací tyristor je schopen sepnout za cca $1\ \mu\text{s}$. Posuzovaný pohon s parametry uvažovanými v této zprávě je schopen bezpečného provozu i v maximálních požadovaných otáčkách, kdy indukované napětí významně přesahuje blokovací schopnosti hlavního frekvenčního měniče.

Seznam obrázků

2.1 Simulační schéma VPM modulu a jeho zapojení do výkonového obvodu pohonu.	5
3.1 Simulace obvodu při jmenovitých otáčkách $n = 910 \text{ min}^{-1}$.	7
3.2 Simulace obvodu při jmenovitých otáčkách $n = 910 \text{ min}^{-1}$ – detail.	8
3.3 Simulace obvodu při jmenovitých otáčkách $n = 3000 \text{ min}^{-1}$.	9
3.4 Simulace obvodu při otáčkách $n = 3000 \text{ min}^{-1}$ – detail.	10
4.1 Provoz VPM v bezporuchovém stavu. Žlutá: napětí na kondenzátoru VPM modulu, světle modrá: vstupní napětí v jedné fázi usměrňovače proti zápornému pólu kondenzátoru, fialová: proud touto fází, zelená: interní (zřejmě komparační) signál VPM modulu.	11
4.2 Provoz VPM při pozvolném nárůstu napětí na stanovenou mez . Žlutá: napětí na kondenzátoru VPM modulu, světle modrá: vstupní napětí v jedné fázi usměrňovače proti zápornému pólu kondenzátoru, fialová: proud touto fází, zelená: interní (zřejmě komparační) signál VPM modulu.	12
4.3 Provoz VPM při skokovém nárůstu napětí na stanovenou mez . Žlutá: napětí na kondenzátoru VPM modulu, světle modrá: vstupní napětí v jedné fázi usměrňovače proti zápornému pólu kondenzátoru, fialová: proud touto fází, zelená: interní (zřejmě komparační) signál VPM modulu.	12
4.4 Provoz VPM při skokovém nárůstu napětí na stanovenou mez . Žlutá: napětí na kondenzátoru VPM modulu, světle modrá: vstupní napětí v jedné fázi usměrňovače proti zápornému pólu kondenzátoru, fialová: proud touto fází, zelená: interní (zřejmě komparační) signál VPM modulu.	13

Seznam tabulek

3.1 Parametry simulovaného systému.	5
-------------------------------------	---

Historie revizí

Rev.	Kapitola	Popis změny	Datum	Jméno
1	Všechny	První revize zprávy	22.03.2018	Tomáš Glasberger