

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Stanovení účinnostní mapy pohonu se synchronním
motorem s permanentními magnety**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr ŠTĚPÁNEK**
Osobní číslo: **E10B0259P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Název tématu: **Stanovení účinnostní mapy pohonu se synchronním motorem s permanentními magnety**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :


1. Sestavení laboratorního prototypu elektrického pohonu s třífázovým střídačem a synchronním motorem.
2. Měření elektrických a mechanických výkonů pohonu.
3. Stanovení účinnostní mapy pohonu.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

- 1. Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Luboš Streit**
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **14. října 2013**
Termín odevzdání bakalářské práce: **9. června 2014**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan




Prof. Ing. Václav Kús, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Anotace

Předmětem bakalářské práce je stanovení účinnostní mapy elektrického pohonu se synchronním motorem s permanentními magnety. Práce se zabývá účinností celé soustavy třífázového napětového střídače, s trakčním motorem, tj. porovnává měření elektrického výkonu na stejnosměrné i střídavé straně s mechanickým výkonem na hřídeli motoru.

Klíčová slova

Synchronní motor s permanentními magnety, účinnost elektrického pohonu, účinnostní mapa, měření výkonu

Abstract

The object of work is to determine the efficacy maps of the electric drive with synchronous motor with permanent magnets. The work deals with the effectiveness of the whole system of three-phase voltage inverter, traction motor, i.e. comparing measurements of electrical power to the DC and AC side with mechanical shaft power.

Key words

Synchronous motor with permanent magnets, efficiency of electric drive, efficiency map, performance measurement

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 9.6.2014

Petr Štěpánek

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce, Ing. Luboši Streitovi, za odborné vedení bakalářské práce, cenné profesionální rady, a za jeho vstřícný přístup před termínem odevzdání.

Obsah

OBSAH.....	8
SEZNAM SYMBOLŮ.....	9
ÚVOD.....	10
SYNCHRONNÍ STROJ S PM	10
1 MĚŘENÍ ÚČINNOSTI SYNCHRONNÍHO MOTORU S PERMANENTNÍMI MAGNETY.....	12
1.1 MĚŘENÍ POHONU V MOTORICKÉM REŽIMU	13
1.2 MĚŘENÍ POHONU V GENERÁTORICKÉM REŽIMU.....	15
2 VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....	17
2.1 VÝSLEDKY MĚŘENÍ PRO MOTORICKÝ REŽIM	17
2.1 VÝSLEDKY MĚŘENÍ PRO GENERÁTORICKÝ REŽIM	20
3 ZÁVĚR.....	23
POUŽITÁ LITERATURA	24
PŘÍLOHY	1
PŘÍSTROJE	1
MĚŘENÉ SOUSTROJÍ	2

Seznam symbolů

f	.....	frekvence
M	.....	točivý moment
β	.....	zátěžný úhel
U_i	.....	indukované napětí
PMSM	.....	synchronní stroj s permanentními magnety
PM	.....	permanentní magnety
x_d	.....	poměrná podélná impedance
x_q	.....	poměrná příčná reaktance
N	.....	severní magnetický pól
S	.....	jížní magnetický pól
n	.....	otáčky stroje za minutu
ω	.....	úhlová rychlost
R_a	.....	odpor vinutí
η_{12}	.....	účinnost měniče v motorickém režimu
η_{23}	.....	účinnost motoru
η_{13}	.....	celková účinnost soustrojí
η_{12g}	.....	účinnost měniče v generátorickém režimu
η_{23g}	.....	účinnost generátoru
η_{13g}	.....	účinnost celého soustrojí
π	.....	pí konstanta
$\cos\varphi_u$	.....	fázový posuv napětí
$\cos\varphi_i$	.....	fázový posuv proudu
P_{ac}	.....	činný výkon na svorkách motoru
P_{dc}	.....	činný výkon v DC obvodu
DC	.....	stejnoseměrné napětí
AC	.....	střídavé napětí
P_m	.....	mechanický výkon
U	.....	napětí
I	.....	proud
DFT	.....	diskrétní Fourierova transformace
G	.....	laboratorní zdroj stejnosměrného napětí - dynamo
SM	.....	synchronní motor
AsM	.....	asynchronní motor

Úvod

Synchronní stroj s PM

Synchronní stroje se dle způsobu buzení dělí na stroje s cizím buzením a stroje s permanentními magnety.

Důležitým rozdílem, mezi motory s vinutým rotorem a s rotorem s permanentními magnety je buzení. Permanentní magnety vytvářejí své vlastní a konstantní magnetické pole. Synchronní stroje s permanentními magnety, tedy nepotřebují stejnosměrné buzení z vnějšího zdroje, a tím pádem ani není potřeba přivádět přes kluzné kontakty buzení do rotoru, čímž se zmenšují ztráty. Na druhou stranu zde odpadá možnost regulace buzení. [1]

U synchronního stroje s permanentními magnety vytvoří stator točivé magnetické pole, rotor s permanentními magnety vytváří rotující pole rotoru s konstantním buzením. Tato dvě pole se vzájemně ovlivňují. Rotor se v ustáleném stavu točí synchronní rychlostí, na rozdíl od rotoru asynchronního motoru. Aby vznikl moment, musí se tato dvě pole vzájemně pootočit o úhel β . Tento úhel nám vyjadřuje vzájemný posuv vektorů jednotlivých polí.

Potřebujeme-li vytvořit regulovaný pohon, potřebujeme napájet motor ze zdroje s proměnou frekvencí a proměnným napětím. Jako nejideálnější zdroj se jeví třífázový napěťový střídač, který nám napětí i frekvenci pomůže plynule měnit. Pro regulaci synchronního stroje, je nezbytně důležité, abychom znali polohu pootočení rotoru. Je to z důvodu pracovních bodů na momentové charakteristice. V případě, že by došlo k pootočení vektoru pole rotoru o více jak $\beta > 90^\circ$, nastal by jev nazvaný „vypadnutí ze synchronismu“, moment bude nulový a rotor motoru se zastaví.

Součástí regulovaného pohonu je řídicí jednotka s digitálním signálovým procesorem, ve které je implementováno řízení pohonu, které zajišťuje spínání měniče.

Velmi rozšířeným způsobem řízení je vektorové řízení (které bylo použito i ve vašem případě). U vektorového řízení se odděleně regulují složky proudu i_d a i_q v rotujícím souřadném systému d, q. Složka proudu i_d je odpovědná za velikost mag. toku, složka i_q je potom odpovědná za velikost momentu motoru.

Postupným vývojem výkonových měničů, jsou synchronní motory stále více rozšířeny. V dřívějších dobách byly synchronní stroje používány hlavně jako generátory. Díky pokroku a moderním permanentním magnetům se uplatňují synchronní motory s permanentními magnety stále více jako motory, a to i v dopravních prostředcích, kde mohou nabídnout stejný moment při menších rozměrech a vyšší účinnost, ve srovnání

s asynchronními motory. Proto jsou zde vysoké nároky na přesnou regulaci pohonu.

Ale také mají pár nevýhod: nutné čidlo polohy, cena a citlivost permanentních magnetů. Vzácné kovy pro PM zvyšují neustále svoji cenu a při provozu se musí hlídat teplota, která působí nepříznivě na permanentní magnety. Jsou tedy méně robustní než ASM.

Motivací pro tuto práci je změřit účinnost pohonu s PMSM. U trakčních vozidel napájených z trolejového vedení nebyla dosud otázka účinnosti tak naléhavá. S rozvojem elektrických vozidel napájených z trakčních baterií však vzhledem k dosud nízké energetické hustotě stávající technologie baterií (Li-ion 150 Wh/kg) se pozornost stále více ubírá také k účinnosti použitého pohonu.

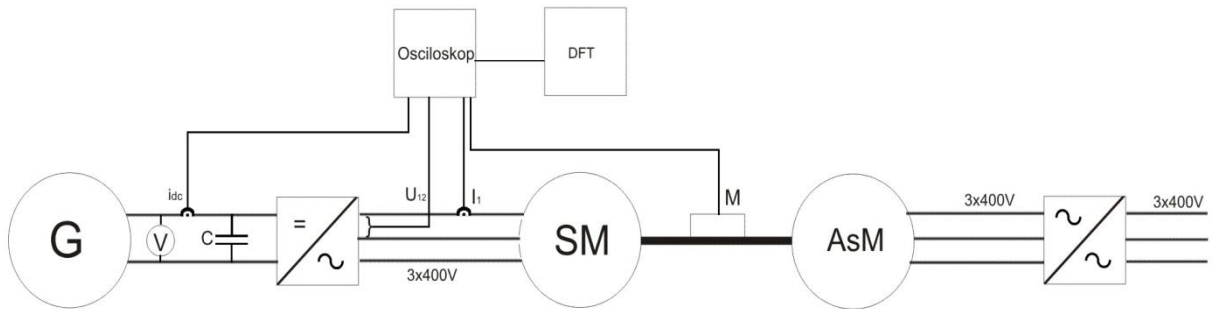
Cílem bakalářské práce je provést sérii měření na elektrickém pohonu s 3f napět'ovým střídačem a synchronním motorem s PM. Měření se zabývá elektrickým výkonem na stejnosměrné i střídavé straně měniče a mechanickým výkonem na hřídeli motoru a to v široké oblasti otáček i momentu. Porovnáním naměřených výkonů jsou pak pro každý bod stanoveny účinnosti soustavy, měniče a samotného motoru a jsou sestaveny účinnostní mapy pro pracovní oblast pohonu motoru (laboratorního prototypu), a to jak pro motorický, tak i generátorický režim.

1 Měření účinnosti synchronního motoru s permanentními magnety

Měření účinnosti pohonu s permanentními magnety, se provádělo na soustrojí, kde byly spojeny – synchronní motor s permanentními magnety, momentové čidlo a asynchronní motor. Synchronní motor byl prototyp trakčního pohonu s permanentními magnety. Pro napájení pohonu, byl použit 3f napěťový střídač, který vytváří regulované 3f střídavé napětí dané velikosti a frekvence. Stejnoseměrná strana střídače byla napojena pomocí stejnosměrný laboratorní zdroj – dynamo, díky kterému, díky kterému bylo možné provozovat pohon i v generátorickém režimu – získaný výkon z pohonu byl reverzován do dynama. Tento 3f střídač napájí synchronní motor s PM. Motor má na rotoru instalované čidlo polohy, informace o poloze rotoru je zavedena do řídicí jednotky která tento signál vyhodnocuje. Řídicí jednotka s digitálním signálovým procesorem zajišťuje spínání měniče, tak, abychom dostali potřebnou frekvenci a napětí. V řídicí jednotce je implementováno vektorové řízení se zpětnou vazbou od proudu a polohy rotoru, tzn. vedle polohy rotoru se čidly proudu měří fázové proudy motoru.

Motor bylo díky řízení možné provozovat v rozsahu otáček od 180 do 1380 ot/min a v rozsahu momentu 0.52 - 26.1 Nm. PMSM byl mechanicky spojen s asynchronním motorem, kterým se generoval zátěžný moment v případě měření motorického režimu, nebo hnací moment v případě měření generátorického režimu. Pomocný asynchronní motor byl napájen z třífázového nepřímého měniče kmitočtu s možností nastavení zátěžného nebo hnacího momentu. Na spojce obou motorů bylo instalováno momentové čidlo umožňující měření zátěžného nebo hnacího momentu.

1.1 Měření pohonu v motorickém režimu



Obr.: 1.1. Blokové schéma měřeného soustrojí v motorickém chodu

Pomocí voltmetru a proudové sondy bylo měřeno napětí a proud na stejnosměrné straně měniče, ze kterého byl následně vypočítán elektrický výkon odebíraný celým soustrojím. Napětí na stejnosměrném meziobvodu měniče bylo nastaveno na 200 V.

Při zatěžování různým momentem bylo dorovnávan pomocí napájecího dynama napětí ve stejnosměr. meziobvodu měniče tak, aby bylo stále 200 V a pohybovali jsme se tak po stejných momentových charakteristikách motoru.

Dále jsme měřili sdružené napětí na motoru u_{12} a fázový proud motoru i_1 . Protože na vstupu motoru je pulzní napětí generované měničem, bylo potřeba pro výpočet výkonu P_{ac} provést Fourierovu analýzu, abychom dostali amplitudu první harmonické složky. Proto byl prováděn na osciloskopu export naměřených dat aby byla vypočítána DFT pomocí programu Matlab. Taktéž byla provedena harmonická analýza proudu i_1 a identifikace první harmonické složky. Výkon jsme vypočítali jako :

$$P_{AC} = \sqrt{3} \times U_{12} \times i_1 \times \cos(\phi_{u1} - \phi_{i1})$$

Protože pro výpočet $\cos\phi_i$ je třeba znát ϕ_{iu} , prováděli jsme posun 1. harmonické sdruženého napětí o 30 stupňů a spočítali jsme fázový posun vůči proudu a pak $\cos\phi_i$.

Mechanický výkon bylo možné určit díky měření zátěžného momentu na hřídeli trakčního motoru pomocí čidla momentu. Moment vykazoval zvlnění, a tak jsme pomocí osciloskopu prováděli měření střední hodnoty momentu, kterou jsme odečítali.

Rotorovou frekvenci bylo k dispozici od vektorového řízení implementovaného v DSP (digit. sign. procesor).

Na nepřímém měniči kmitočtu, který napájel pomocný asynchronní motor, byla nastavena velikost zátěžného momentu. Měření bylo provedeno tak, že jsme nastavili požadovanou rotorovou frekvenci ve vektorovém řízení pohonu a byl zvyšován zátěžný moment.

Účinnost se vypočítá jako:

$$\eta = \frac{\text{Výkon získaný}}{\text{Výkon dodaný}} \quad (1)$$

Cílem této práce, je měření této účinnosti.

- Účinnost měniče η_{12}
- Účinnost motoru η_{23}
- Účinnost celková η_{13}

Účinnost měniče bude vysoká, jelikož zde jsou velmi malé ztráty.

Lze ji vypočítat, jako:

$$\eta_{12} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} \quad (2)$$

výkon stejnosměrné strany se dá vypočítat, ze vztahu:

$$P_{DC} = U_{DC} * I_{dc} \quad (3)$$

A výkon za střídačem vypočteme pomocí diskretní Fourierovy transformace DFT.

Změřením U_{12} a i_1 , lze pomocí DFT vypočítat první harmonické složky pro výpočet P_{AC}

Z DFT nám vyšlo:

$$U_{12} = \frac{U_{12m}}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

$$i_1 = \frac{I_{1m}}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

Dále pak: $\cos\phi_{U_{12}}$ a $\cos\phi_{i_1}$

A protože účinník se vypočte jako cosinus rozdílu úhlů $\phi_u - \phi_i$ provedeme ještě jednu korekci, a to odečíst od úhlu napětí 30° , pro výpočet účinníku je nutné získat úhel natočení vektoru fázového napětí, který lze z vektoru sdruženého napětí vypočítat odečtením od fázových hodnot, nikoliv sdružený a fázový úhel.

A nyní:

$$P_{AC} = \sqrt{3} \times U_{12} \times i_1 \times \cos(\phi_{u1} - \phi_{i1}) \quad (6)$$

Mechanický výkon vypočteme:

$$P_m = M \cdot \omega = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \quad (7)$$

Účinnost motoru bude ovlivněna momentem a otáčkami.

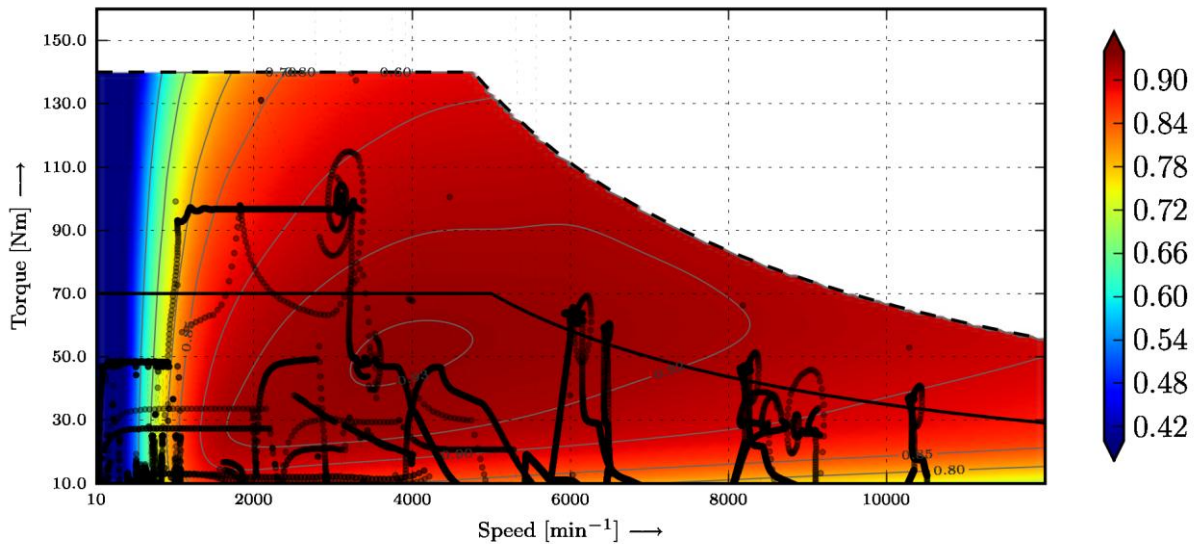
Vypočteme:

$$\eta_{23} = \frac{P_m}{P_{AC}} \quad (9)$$

Celková účinnost bude podobná účinnosti motoru.

$$\text{Vypočteme ji: } \eta_{13} = \frac{P_m}{P_{DC}} \quad (10)$$

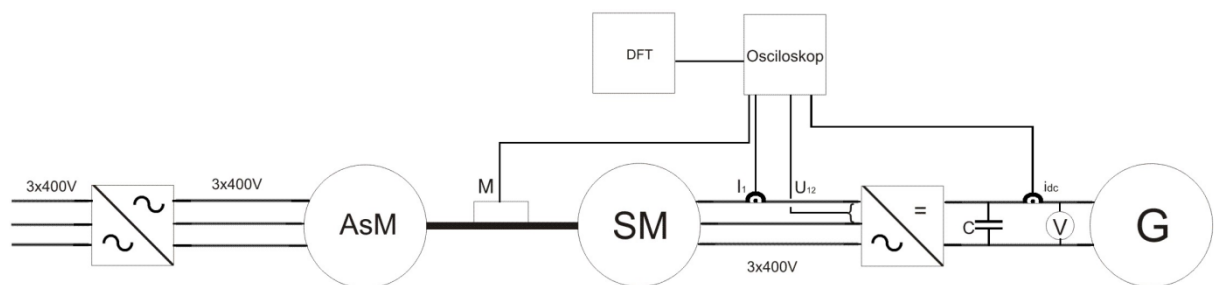
Cílem této práce je stanovení účinnostních map, které zobrazují rozožení účinnosti v pracovní oblasti motoru, jak ukazuje obr.:1.2.



Obr.: 1.11 účinnostní mapa pohonu s PM [2]

Z grafu je vidět, malá účinnost při obou osách, kdy mechanický výkon se blíží nule, ale motor stále odebírá výkon vlivem nenulového momentu nebo nenulových otáček. Oblast nejvyšší účinnosti se nachází od jmenovitých otáček v oblasti odbuzování.

1.2 Měření pohonu v generátorickém režimu



Obr.: 1.1. Blokové schéma soustavy pro měření v generátorickém chodu

Měření provádíme stejným způsobem jako při měření v motorickém chodu. Při měření v generátorickém chodu, se snažíme, aby rotor předbíhal o úhel β .

Účinnost stroje se vypočítatá:

$$\eta\eta = \frac{\text{Výkon získaný}}{\text{Výkon dodaný}} \quad (11)$$

Účinnost měniče vypočteme:.

$$\eta\eta_{12g} = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} \quad (12)$$

Mechanický výkon vypočteme (7)

Elektrický výkon vypočteme (6)

Účinnost generátoru bude ovlivněna momentem a otáčkami.

Vypočteme: $\eta_{23g} = \frac{P_{AC}}{P_m}$ (13)

Celková účinnost bude podobná účinnosti generátoru.

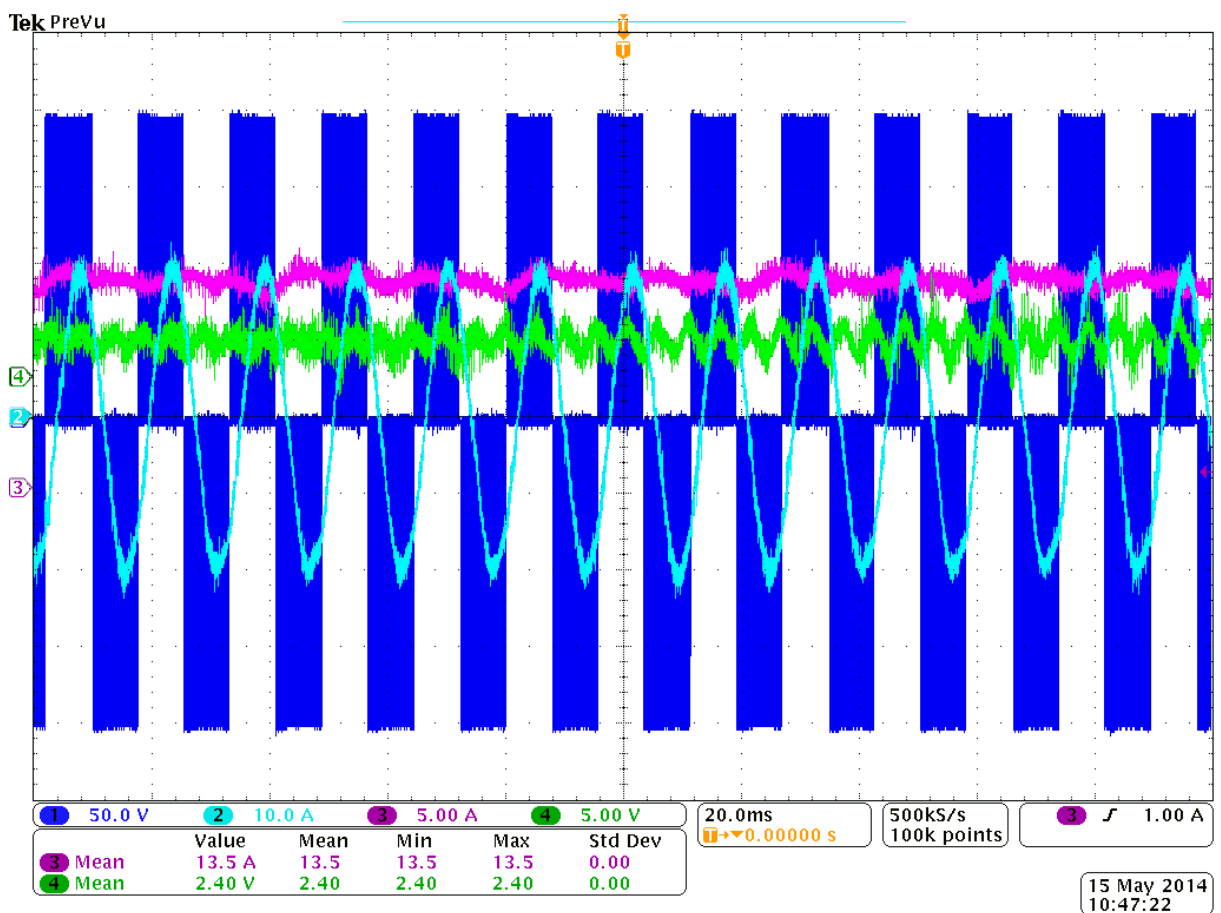
Vypočteme ji: $\eta_{13g} = \frac{P_{DC}}{P_m}$ (14)

2 Výsledky měření

Na základě pracovní oblasti laboratorního prototypu bylo měření provedeno v rozsahu rotorové frekvence 3 – 23 Hz s měřicím krokem 1 Hz a v rozsahu brzdného momentu od 0.52Nm do 26.1 Nm. Při měření byla fixována rotorová frekvence a zvyšován zátěžný moment.

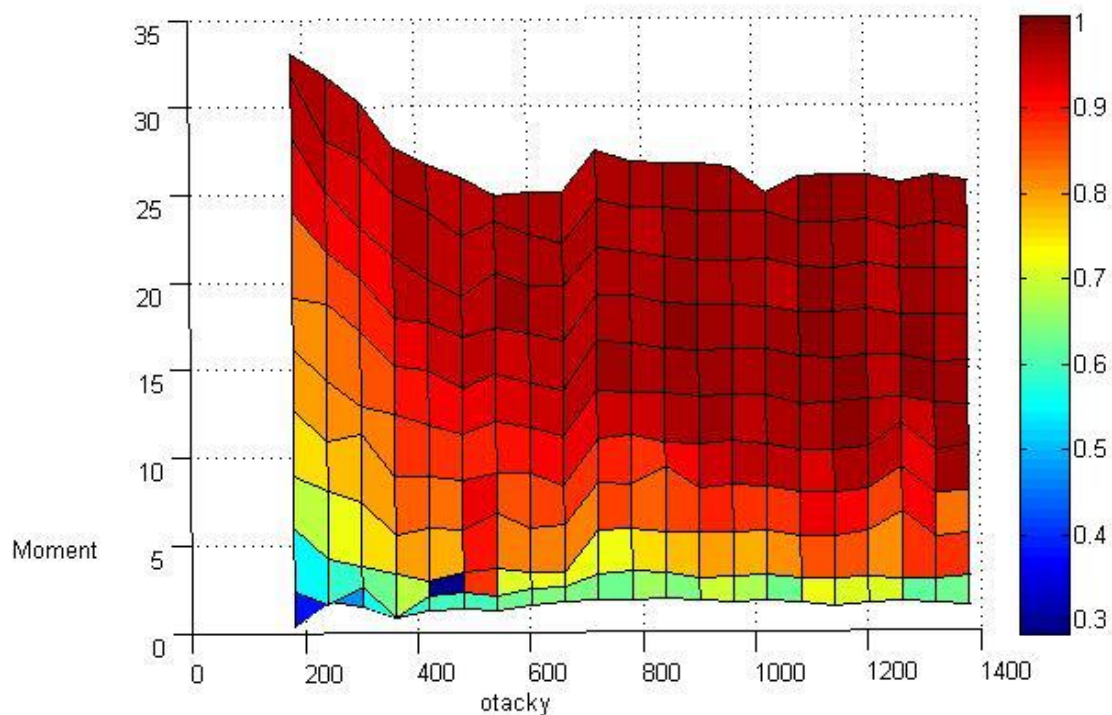
2.1 Výsledky měření pro motorický režim

Na obr.: 1.5. jsou naměřené průběhy frekvence 16Hz a 26,1Nm.

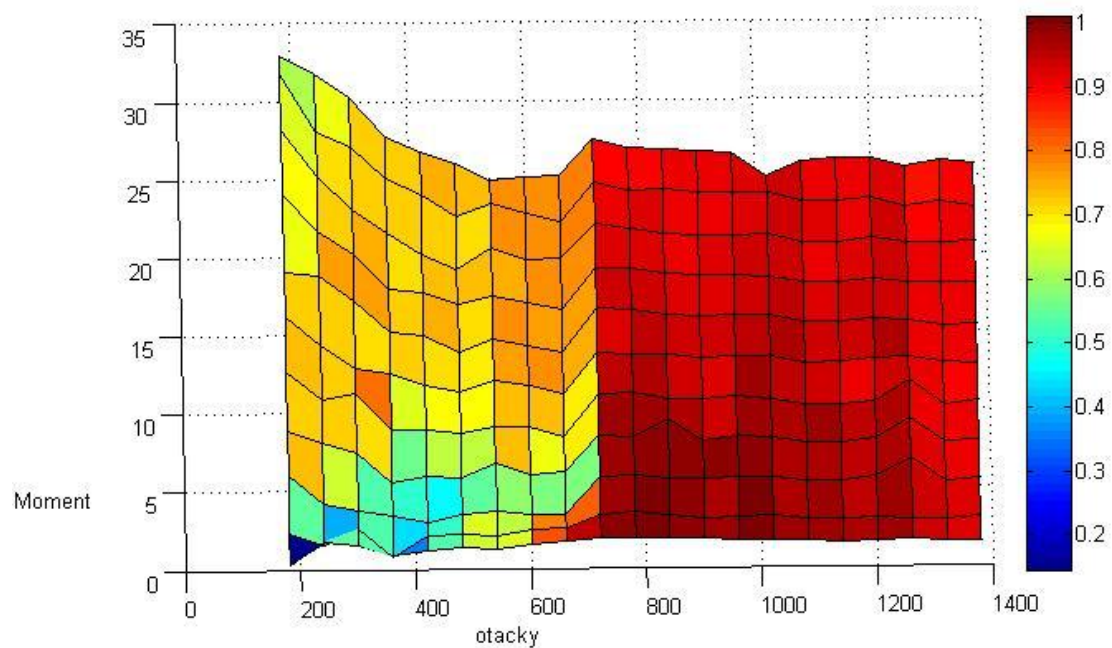


Obr 1.5. Průběhy napětí (1) 50V/dílek, momentu (4) 5V/dílek, proudu i_{DC} (3) 5A/dílek, proudu i_1 (2) 10A/dílek

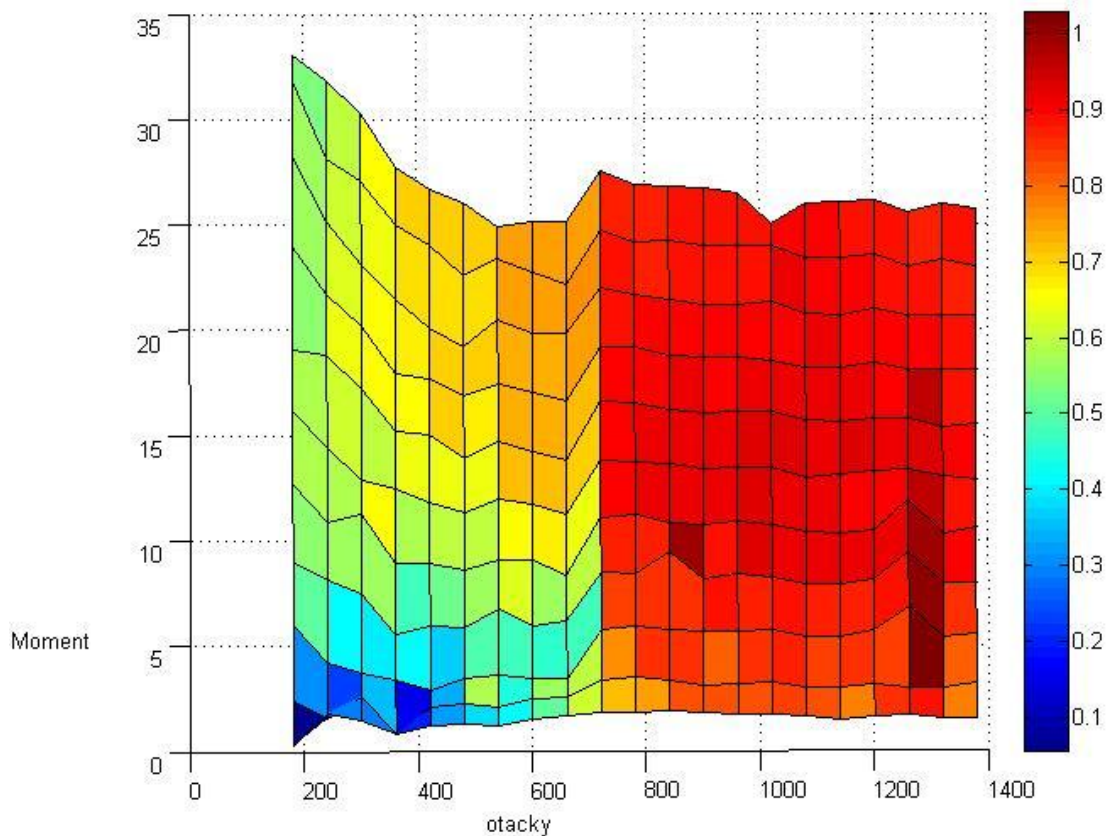
Obr.:1.7 ukazuje výslednou účinnostní mapu pro samotný motor, obr. 1.6 zase pro samotný napěťový střídač. Účinnostní mapa pro celou soustavu je pak uvedena na obr. 1.8.



Obr.: 1.6. Účinnostní mapa střídače



Obr.: 1.7. Účinnostní mapa motoru



Obr.: 1.8. Účinnostní mapa soustrojí

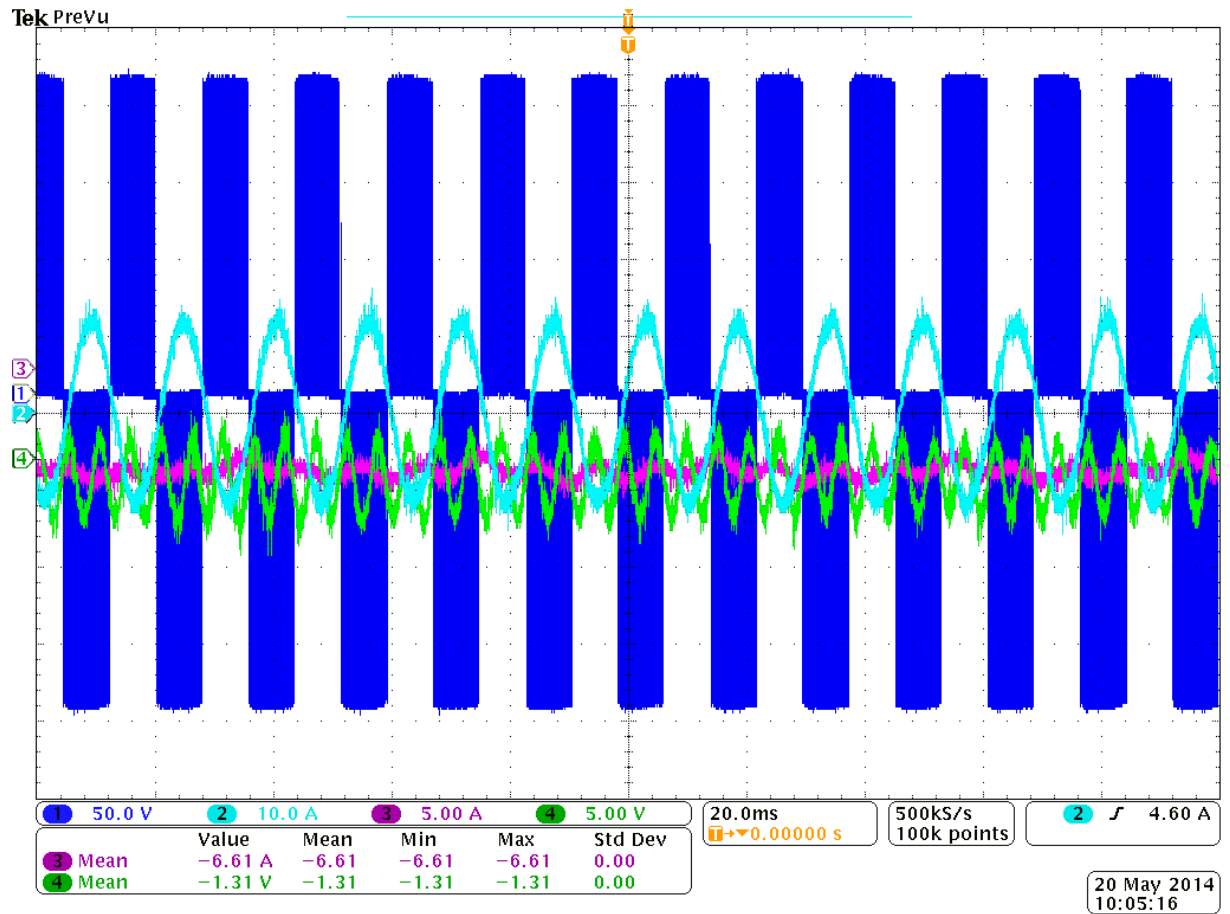
Z výsledků je patrná křivka maximálního momentu při 3 Hz a jeho pokles vlivem odbuzování. Měření splnilo očekávání, účinnost klesá v oblasti podél osy momentu či v oblasti podél osy otáček, kde výstupní mechanický výkon klesá k nule. Oblast nejvyšší účinnosti se nachází od 660 otáček směrem do oblasti odbuzování. Účinnost pohonu se synchronním motorem přesahuje v oblasti nejlepší účinnosti 90%.

Měření momentu vykazovalo veliký rozkmit a bylo zejména v oblasti malých momentů zatíženo šumem, což mělo vliv na výpočet střední hodnoty momentu.

Na základě pracovní oblasti laboratorního prototypu bylo měření provedeno v rozsahu rotorové frekvence 3 – 22 Hz s měřícím krokem 1 Hz a v rozsahu hnacího momentu od 0.52 Nm do 26.1 Nm. Při měření byla fixována rotorová frekvence a zvyšován zátěžný moment.

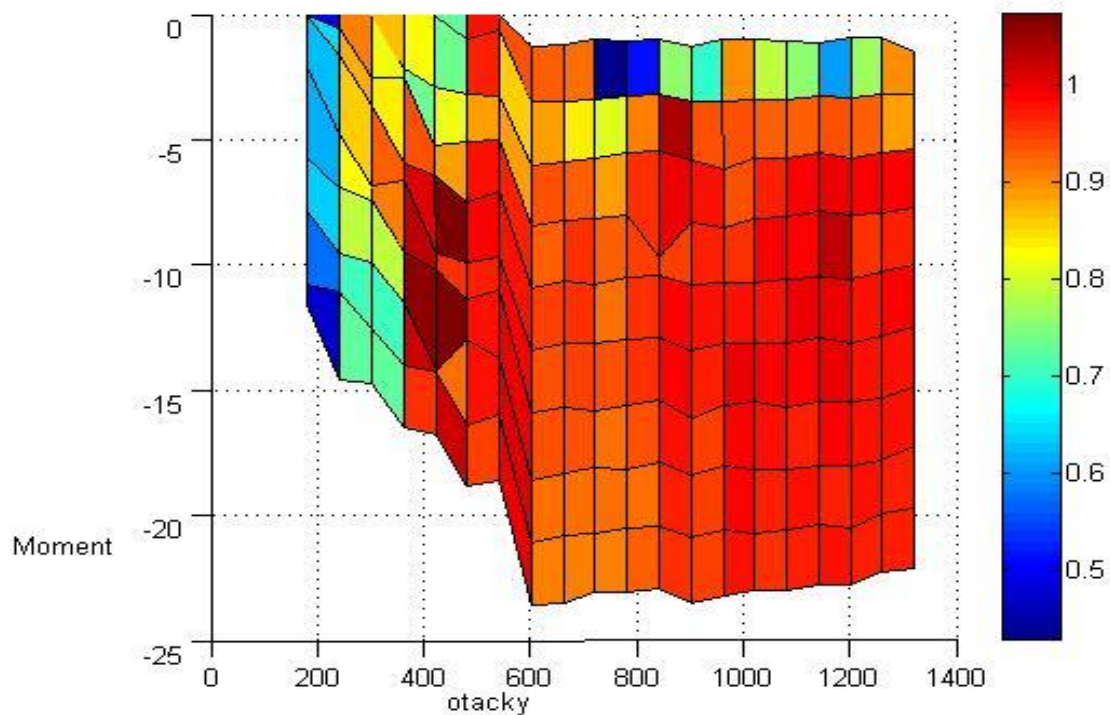
2.1 Výsledky měření pro generátorický režim

Na obr.: 1.9. jsou naměřené průběhy frekvence 16Hz a 15,66Nm hnacího momentu.

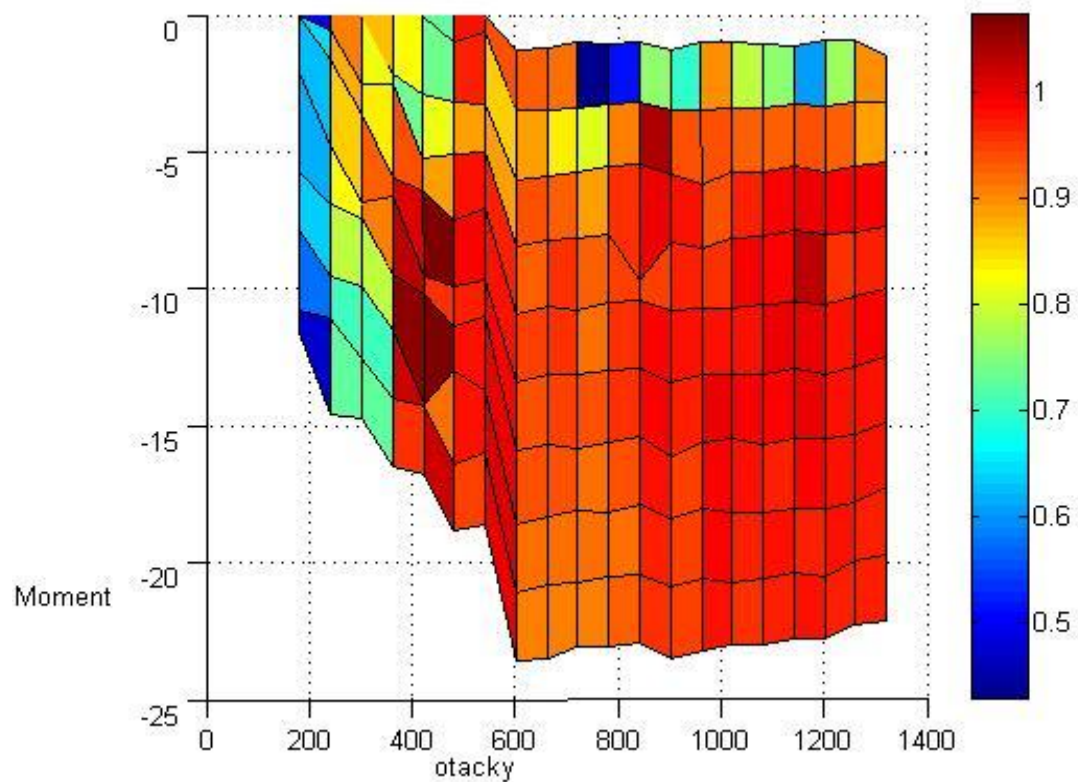


Obr 1.9. Průběhy napětí (1) 50V/dílek, momentu (4) 5V/dílek, proudu i_{DC} (3) 5A/dílek, proudu i_1 (2) 10A/dílek

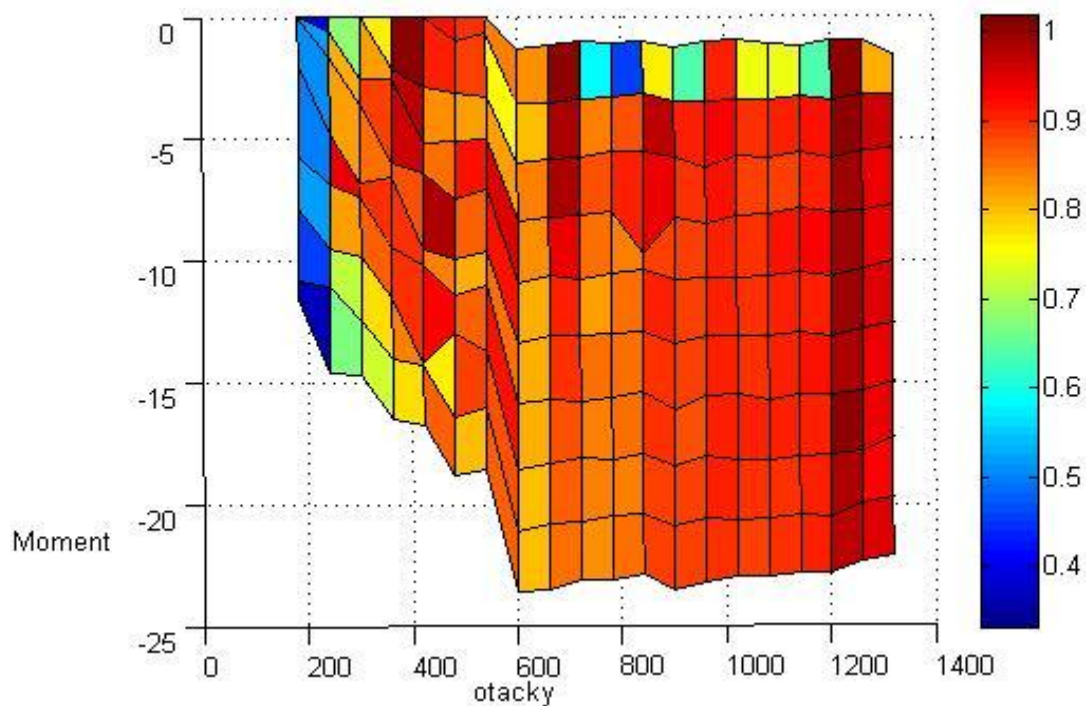
Obr.:1.11 ukazuje výslednou účinnostní mapu pro samotný generátor, obr. 1.10 pro samotný napěťový střídač. Účinnostní mapa pro celou soustavu je pak uvedena na obr. 1.12.



Obr.: 1.10. Účinnostní mapa střídače



Obr.: 1.11. Účinnostní mapa generátoru



Obr.: 1.12. Účinnostní mapa soustrojí

Měření potvrdilo vysokou účinnost pohonu v generátorickém režimu. Účinnost, stejně jako pro motorický režim, klesá v oblasti podél osy momentu či v oblasti podél osy otáček, kde výstupní mechanický výkon se blíží k nule. Oblast nejvyšší účinnosti se nachází od 400 otáček směrem do oblasti odbuzování. Účinnost pohonu se synchronním generátorem přesahuje v oblasti nejlepší účinnosti 90%.

Měření momentu vykazovalo veliký rozkmit a bylo zejména v oblasti malých momentů zatíženo šumem, což mělo vliv na výpočet střední hodnoty momentu

3 Závěr

V souladu se zadáním práce byla provedena série měření na laboratorním prototypu elektrického pohonu sestávajícího z 3f napěťového střídače se synchronním motorem s permanentními magnety. Na základě měření potřebných veličin byly vypočítány elektrické výkony na stejnosměrné a střídavé straně měniče a mechanický výkon na hřídeli motoru. Měření proběhlo v pracovní oblasti laboratorního prototypu s implementovaným vektorovým řízením, oblast byla proměřena při konstantních otáčkách při změně zátěžného/hnacího momentu, v motorickém i generátorickém režimu. Na základě stanovených výkonů byly vyhotoveny účinnostní mapy měniče, trakčního motoru a celé soustavy, jak pro motorický, tak i generátorický režim. Stanovení výkonu na střídavé straně bylo provedeno pomocí DFT, kdy byly vypočítány první harmonické napětí a proudu. Měření potvrdilo vysokou účinnost elektrického pohonu se synchronním motorem přesahující v optimálních pracovních bodech 90% a vhodnost použití v bateriových elektrických vozidlech, kde je účinnost pohonu klíčová. Účinnost klesá směrem k momentové ose a směrem k ose otáček, kde se mechanický výkon blíží k nule, zatímco motor je stále elektricky napájen.

Měření nepříznivě ovlivnilo vysoké zvlnění momentu a šum, a mělo to vliv na určení střední hodnoty momentu.

Použitá literatura

- [1] Tesárek, R.: *Bakalářská práce Synchronní stroje s permanentními*, ZČU, FEL 2013
- [2] Jacobs, Sigrid, et al. "Magnetic material optimization for hybrid vehicle PMSM drives." *EVS24-International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium, Stavanger, Norway*. 2009.
- [3] Růžička, L.:*Bakalářská práce Synchronní stroje s permanentními magnety pro trakční účely*, ZČU, FEL 2011

- [4] Flajtingr, J., Kule, L.:*Elektrické pohony se střídavými motory a polovodičovými měniči*, Západočeská univerzita v Plzni, 2002
- [5] Vlasák, M.:*Bakalářská práce Měření na synchronním stroji s permanentními magnety*, ZČU, FEL 2011
- [6] Bartoš, V.:*Měření na elektrických strojích*, Plzeň 2002.
- [7] Bartoš, V.:*Teorie elektrických strojů*, Plzeň 2006.
- [8] Bartoš, V.: *Elektrické stroje*, Plzeň 1995

Přílohy

Přístroje

Motor s PM

Štítkové hodnoty:

Výrobce REEL S.r.l. 1004303

Mot 3~ fázový, typ IB100 F, IP 64, S1

$P_n = 10,7 \text{ kW}$, $U_n = 316 \text{ V}$

$M_n = 38 \text{ Nm}$, $I_n = 11,6 \text{ A}$

Brake 24 V

Momentové čidlo

Hottinger Baldwin Messtechnik

Typ: T20WN/100NM

10V odpovídá 100Nm

As motor

EM Brno

Asynchronní motor 3~ Typ: 1AY112L

$P_n = 14,7 \text{ kW}$, $f = 101 \text{ Hz}$

Stator Δ $U_n = 380 \text{ V}$, $I_n = 38 \text{ A}$

$n = 3000 \text{ ot/min}$, $\cos\phi = 0,73$, izolace F

Dynamo G1

$U_n = 230 \text{ V}$, $I_n = 70 \text{ A}$

Řídicí jednotka s DSP

TI F28335

Osciloskop

Tektronix DPO 4034B

Měřené soustrojí

