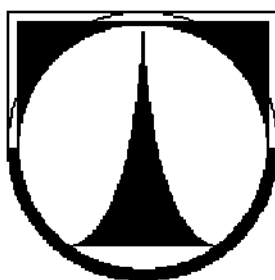


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilná



DIPLOMOVÁ PRÁCA

**Účinnost asynchronního motoru s odrušovacími prvky
v přívodu**

*Induction Motor Effectivity with Suppressing Components in the
Input*

2006

Mária Pohanková

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní
Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií
Katedra elektrotechniky

Študijný obor: Oděvní technologie 3106T005

Zameranie: Řízení technologických procesů

Účinnost asynchronního motoru s odrušovacími prvky v přívodu

*Induction Motor Effectivity with Suppressing Components in the
Input*

Mária Pohanková

Vedúci diplomovej práce: Doc.Ing. Eva Konečná, CSc.

Konzultant: Ing. Jiří Kubín

Rozsah práce:

Počet strán: 81

Počet obrázkov: 13

Počet grafov: 70

Počet tabuliek: 7

Počet príloh: 2 + 1 CD

V Liberci 15. mája 2006

P r e h l á s e n i e

Prehlasujem, že predložená *diplomová* práca je pôvodná a spracovala som ju samostatne. Prehlasujem, že citácie použitých prameňov je úplná, že som v práci neporušila autorské práva (v zmysle zákona č. 121/2000 Sb. O práve autorskom a o právach súvisiacich s právom autorským).

Súhlasím s umiestnením *diplomovej* práce v Univerzitnej knižnici TUL.

Bol/a som zoznámený/a s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb. o práve autorskom, najmä § 60 (školní dielo).

Beriem na vedomie, že TUL má právo na uzavretie licenčnej zmluvy o užití mojej diplomovej práce a prehlasujem, že **s ú h l a s í m** s prípadným užitím mojej diplomovej práce (predaj, zapožičanie apod.).

Som si vedomá toho, že úžiť svojej diplomovej práce či poskytnutie licencie k jej využitiu môžem len so súhlasom TUL, ktorá má právo odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, vynaložených univerzitou na vytvorenie diela (až do jej skutočnej výšky).

Beriem na vedomie, že si svoju diplomovú prácu môžem vyzdvihnúť v Univerzitnej knižnici TUL po uplynutí piatich rokov po obhajobe.

V Liberci, dňa 15. mája 2006

.....

Mária Pohanková

Pod'akovanie

Na tomto mieste by som chcela poďakovať Doc. Ing. E. Konečnej, CSc. za odborné vedenie, pomoc pri spracovaní diplomovej práce, za cenné rady a poskytnuté informácie. Ďalej by som chcela poďakovať Ing. J. Kubínovi za poskytnuté rady a za pomoc pri praktickej časti.

Anotácia :

Cieľom tejto diplomovej práce je zistiť vplyv odrušovacích prvkov v privode na asynchrónny motor a zistiť s ktorými prvkami dosahuje asynchrónny motor s frekvenčným meničom najvyššiu účinnosť. A tiež porovnať sínusové napájanie asynchrónneho motora zo siete s napájaním nesínusovým z meniča frekvencie.

Annotation:

The aim of this diploma work is to find an influence of suppressing components at the input of an induction motor. Furthermore, the work finds the list of components with which an induction motor with frequency converter is able to achieve the highest effectivity. The work also describes and compares sinusoidal driving of an induction motor from the system with driving of the motor by non-sinusoidal signal from the frequency convector.

Kľúčové slová:

- asynchrónny motor
- frekvenčný menič
- odrušovacie prvky v privode
- vstupný filter
- filtračná tlmivka
- účinnosť asynchrónneho motora
- sínusové napájanie
- nesínusové napájanie

Obsah

Zoznam použitých skratiek a symbolov	9
1. Úvod	11
1.1. Cieľ práce	12
1.2. Podrobné zoznámenie s vlastnosťami asynchrónneho motora napájaného z meniča frekvencie	12
1.2.1. Asynchrónny motor	12
1.2.2. Charakteristiky asynchrónneho motoru	13
1.2.3. Riadenie otáčok	15
1.2.4. Výkon a moment	15
1.3. Frekvenčný menič	18
1.3.1 Nepriami menič kmitočtu s napäťovým medziobvodom	19
2. Porovnanie chovania AM napájaného zo siete oproti napájanie z meniča frekvencie....	20
2.1. Asynchrónny motor napájaný sínusovým napätím	22
2.2. Asynchrónny motor napájaný nesínusovým napätím	27
2.2.1. Skalárne a vektorové riadenie	28
2.3. Vyššie harmonické	35
2.3.1. Tlmivka.....	36
2.4. Meniče ako zdroje rušenia	37
2.4.1. Vplyv neharmonického napájacieho napätia na charakteristiky asynchrónneho motora	38
2.4.2. Vplyv elektrických pohonov s polovodičovými meničmi na energetickú sieť	40
3. Meranie AM napájaného z frekvenčného meniča pri rôznych zapojeniach a modulačných frekvenciách	41
3.1. Popis meracieho pracoviska.	41
3.2. Menič frekvencie – asynchrónny motor	45
3.3. Vstupný filter - Menič frekvencie - asynchrónny motor	56
3.4. Vstupný filter - filtračná tlmivka - menič frekvencie - asynchrónny motor	66
3.5. Porovnanie získaných účinností	76
4. Záver	78
5. Literatúra	80
6. Zoznam príloh.....	81

Zoznam použitých skratiek a symbolov

AM		asynchrónny motor
JM		jednosmerný motor
nf		nízko-frekvenčné rušenie
PWM		šírkovo - pulzná modulácia
vf		vysoko-frekvenčné rušenie
VPS		výkonové polovodičové súčiastky
C	[F]	kapacita
$\cos \varphi$	[-]	účinník
f	[Hz]	frekvencia
f_1	[Hz]	frekvencia napájacieho napätia
f_2	[Hz]	frekvencia rotorového napätia
i	[A]	okamžitá hodnota prúdu
$i(\omega t)$	[A]	prúd základnej harmonickej
$i_K(\omega t)$	[A]	celkový neharmonický prúd motora v stave nakrátko
$i_v(\omega t)$	[A]	prúd v -tej harmonickej
$i_{vK}(\omega t)$	[A]	prúd v- tej harmonickej v stave nakrátko
$i_1(\omega t)$	[A]	prúd prvej harmonickej
$i_{1K}(\omega t)$	[A]	prúd nakrátko prvej harmonickej
I_2	[A]	rotorový prúd prepočítaný na stator
k_{v1}	[-]	činiteľ vinutia v statore
k_{v2}	[-]	činiteľ vinutí v rotoru
L	[H]	indukčnosť
M	[N.m]	moment
n	[ot/min]	skutočné otáčky rotoru
n_s	[ot/min]	synchronne otáčky rotoru
n_1	[ot/min]	synchronne otáčky rotora pre základnú harmonickú
N_1	[-]	počet závitov v jednej fázy statorového vinutí
N_2	[-]	počet závitov v jednej fázy rotorového vinutí
p	[-]	počet pólových dvojíc
P	[W]	činný výkon

P_n	[W]	výstupný mechanický výkon na hriadeli motora
Q	[VAr]	jalový výkon
R_{Fe}	[Ω]	odpor rešpektujúci straty v železe
R_1	[Ω]	odpor statorového vinutí
R'_2	[Ω]	odpor rotorového vinutí prepočítaný na stator
s	[-]	sklz
s_v	[-]	sklz v -tej harmonickej
s_{zv}	[-]	sklz zvratu
s_1	[-]	sklz prvej harmonickej
S	[VA]	zdanlivý výkon
t	[s]	čas
T	[s]	perióda
u_i	[V]	okamžitá hodnota napätia
u_h	[-]	pomerná hodnota v - tej harmonickej napätia
$u(\omega t)$	[V]	neharmonické napätie
U_{ef}	[V]	efektívna hodnota napätia
U_h	[V]	v - tá harmonická napätia
U_{max}	[V]	maximálna hodnota napätia
U_n	[V]	združené napätie statorového vinutia
U_1	[V]	napájacie napätie
U_{1f}	[V]	indukované napätie v statore
U_{20f}	[V]	indukované napätie v rotoru
$v(\omega t)$	[Hz]	harmonická zložka s frekvenciou
X_H	[Ω]	hlavná reaktancia predstavujúca spoločný magnetický tok
$X_{1\sigma}$	[Ω]	rozptylová reaktancia statorového vinutí
$X'_{2\sigma}$	[Ω]	rozptylová reaktancia rotor. vinutí prepočítaná na stator
Φ	[Wb]	magnetický indukčný tok
η	[%]	účinnosť
ω	[rad/s]	skutočná uhlová rýchlosť rotoru
ω_m	[rad/s]	otáčky motora
ω_s	[rad/s]	synchronná uhlová rýchlosť rotoru
ω_l	[rad/s]	otáčky točivého magnetického poľa

1. Úvod

Asynchrónny motor je v súčasnosti najčastejšie používaný typ elektromotora. Je to dané predovšetkým jeho dobrými prevádzkovými vlastnosťami, možnosťami použitia v širokom výkonovom rozsahu pre väčšinu aplikácií a jednoduchou konštrukciou, ktorá zvyšuje spoľahlivosť. Asynchrónne stroje sú vyrábané vo veľkých sériách, čo prispieva k zníženiu ich ceny. Vo väčšine bežných pohonov pracuje AM bez riadenia otáčok. Tieto pohony tvorili donedávna až 80 % aplikácií AM.

Pre kvalitnú reguláciu rýchlosti je nutné napájať asynchrónny motor zo zdroja premenného kmitočtu a napätia. Jedná sa o pomerne zložité zariadenie, ako z hľadiska výkonovej časti, tak riadenia [5]. Hnací motor je najčastejšie asynchrónny s kotvou nakrátko, napájaný väčšinou z napäťového meniča frekvencie, veľakrát i v tých prípadoch, kedy nie je nutná regulácia otáčok.

S rozvojom polovodičových meničov sa asynchrónne motory začali používať v aplikáciách, kde je treba plynule meniť rýchlosť, a to v celom alebo čiastočnom rýchlostnom rozsahu. Najvýznamnejším spôsobom riadenia je riadenie frekvenčné. Frekvenčne riadené asynchrónne motory sa dnes používajú k pohonu takých pracovných mechanizmov, kde sa skôr používal výhradne jednosmerný regulačný pohon [3].

Základným stavebným prvkom meničov sú výkonové polovodičové súčiastky, ktoré môžu spätne pôsobiť na napájaciu sieť a tým aj na ostatné pripojené zariadenia. Z princípu funkcie sú meniče i silnými zdrojmi rušenia, pretože zaťažujú sieť neharmonickými prúdmi. Prevádzkové vlastnosti elektrických pohonov s polovodičovými meničmi sa prejavujú spätnými vplyvmi na napájaciu sieť a to: deformáciou harmonického napätia siete, zhoršovaním účinníka siete a šírením vysokofrekvenčných porúch pozdĺž energetickej siete [2].

Javy vznikajúce na výstupe meničov kmitočtu sú v súčasnej dobe veľkým problémom a ich eliminácia tak, aby neohrozovali akýmkoľvek spôsobom okolité zariadenia, je značne zložitá. Možným spôsobom ako tieto nepriaznivé vplyvy odstrániť je použiť odrušovacie prvky v privode, ako filtre a filtračné tlmivky, ktoré majú za úlohu znížiť vplyv vyšších harmonických vo vstupnom napätí, obmedzenie napäťových prekmitov, zníženie strát v motore, odstránenie prúdových nárazov a zvýšenie účinnosti motora. Z tohto hľadiska bolo treba experimentálne zistiť vplyv odrušovacích prvkov na prevádzku asynchrónneho motora.

1.1. Cieľ práce

Cieľom tejto práce je podrobne sa zoznámiť s vlastnosťami asynchrónneho motoru s kotvou nakrátko napájaného z meniča frekvencie a to porovnaním chovania asynchrónneho motora napájaného sínusovým napätím s frekvenciou 50Hz s asynchrónnym motorom napájaným nesínusovým napätím z meniča kmitočtu pri skalárnom a vektorovom riadení.

Ďalším bodom tejto diplomovej práce je zmerať účinnosť asynchrónneho motora pri menovitom zaťažení, frekvenciách privádzaného napätia a modulačných frekvenciách meniča, pri rôznych druhoch zapojenia a následné vyhodnotenie nameraných výsledkov.

1.2. Podrobné zoznámenie s vlastnosťami asynchrónneho motora napájaného z meniča frekvencie

Táto práca sa zaoberá účinnosťou asynchrónneho motora s odrušovacími prvkami v prívode a preto je v tejto časti popísaný asynchrónny motor s kotvou nakrátko, frekvenčný menič, jeho vplyv na napájaciu sieť a tlmivka.

1.2.1. Asynchrónny motor

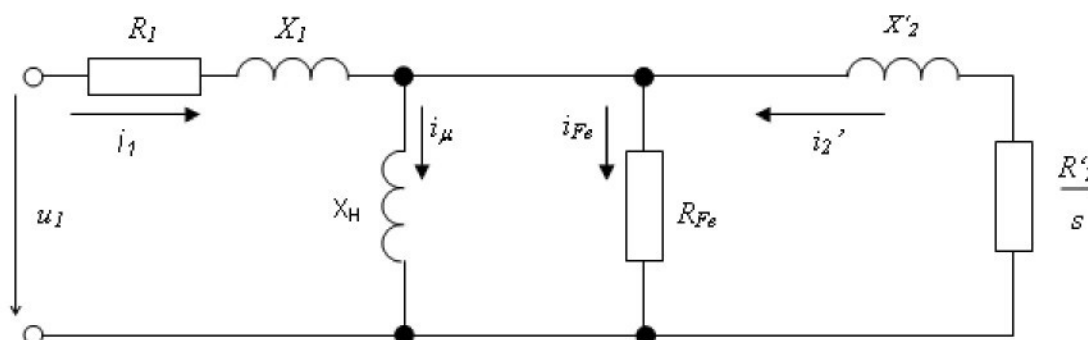
Asynchrónny motor (AM) je najrozšírenejší a najpoužívanější v striedavých pohonoch, lebo má jednoduchú a robustnú konštrukciu, je výrobné i prevádzkovo pomerne lacný, ľahko sa spúšťa a v prevádzke je spoľahlivý. Umožňuje priame napájanie z rozvodnej siete a je skonštruovaný tak, že môže pracovať v ľubovoľnom prostredí (ale v závislosti na prevedení stroja).

Rozdelenie asynchrónnych motorov:

Podľa konštrukcie rotora sa AM rozdeľujú na:

- asynchrónne motory s kotvou nakrátko,
- asynchrónne motory s vinutým rotorom (krúžkový motor) [5].

Táto práca sa zaoberá asynchrónnym motorom s kotvou nakrátko, jeho schematické usporiadanie je na obr.1. [3].



Obr.1. Schematické usporiadanie AM s kotvou nakrátko

kde:

R_1 ... odpor statorového vinutia

R'_2 ... odpor rotorového vinutia prepočítaný na stator

i_1 ... statorový prúd

i'_2 ... rotorový prúd prepočítaný na stator

R_{Fe} ... odpor rešpektujúci straty v železe

X_1 ... rozptylová reaktancia statorového vinutia

X'_2 ... rozptylovou reaktancia rotorového vinutia prepočítaná na stator

X_H ... hlavná reaktancia predstavujúca spoločný magnetický tok

1.2.2. Charakteristiky asynchrónneho motoru

Je to najjednoduchší elektrický motor s vinutím rotora v tvare kľetky, ktorá sa vytvorí spojením všetkých tyčí v drážkach rotora čelnými kovovými kruhmi nakrátko. AM je z elektrického hľadiska v podstate transformátor, zložený z primárneho statorového (pevná časť) a sekundárneho rotorového (pohyblivá časť) vinutia. Ale líši sa tým, že vinutia motoru sú uložené v dvoch oddelených železných jadrách, medzi ktorými je vzduchová medzera. Pripojením statorového vinutia na striedavý zdroj vzniká vo vzduchovej medzere otáčavé magnetické pole. Rýchlosť otáčania tohto magnetického poľa (synchronné otáčky n_s) závisí na frekvencii napájacej siete f_1 a na počte pólových dvojíc p stroja.

$$n_s = \frac{60 \cdot f_1}{p} \quad [\text{ot/min, Hz}] \quad (1)$$

resp.

$$\omega_s = \frac{2\pi \cdot f_1}{p} \quad [\text{rad/s, Hz}] \quad (2)$$

kde: ω_s - synchronná uhlová rýchlosť rotora,
 n_s - synchronné otáčky rotora,
 p - počet pólových dvojíc [-],
 f_1 - frekvencia napájacieho napätia [Hz].

Magnetické pole statorového vinutia indukuje napätie:

$$U_{1f} = 4,44 \cdot f_1 \cdot k_{v1} \cdot N_1 \cdot \Phi \quad [\text{V}] \quad (3)$$

kde: k_{v1} - činiteľ vinutia v statore [-],
 N_1 - počet závitov v jednej fázy statorového vinutí [-],
 Φ - magnetický indukčný tok [Wb].

Ako v statore aj v každej fázy rotorového vinutí sa indukuje napätie:

$$U_{20f} = 4,44 \cdot f_1 \cdot k_{v2} \cdot N_2 \cdot \Phi \quad [\text{V}] \quad (4)$$

kde: k_{v2} - činiteľ vinutí v rotoru [-],
 N_2 - počet závitov v jednej fázy rotorového vinutia [-].

Napätie indukované v statorovom vinutí pôsobí proti napätiu siete, čím obmedzuje statorový prúd na hodnotu, pre ktorú je stroj navrhnutý. Napätie indukované v rotore vyvolá v uzatvorenom rotorovom vinutí prietok prúdu. Pri postupnom narastaní otáčok sa znižuje relatívny pohyb vodičov rotora voči točivému magnetickému poľu vo vzduchovej medzere, znižuje sa indukované napätie a prúd, v dôsledku čoho sa zníži i sila pôsobiaca na vodič. Tak dochádza k ustáleniu otáčok rotora na určitej hodnote menšej ako sú synchronné otáčky. V nezaťaženom stave sa rotor otáča otáčkami naprázdno n_0 , ktoré sú takmer zhodné so synchronnými otáčkami n_s . V zaťaženom stave vyvíja motor hnací moment odpovedajúci zaťaženiu a otáčky rotora n_0 sú menšie ako otáčky synchronné n_s . Toto zaostávanie sa nazýva *sklz* [10].

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{f_2}{f_1} \quad (5)$$

Indexy 1 sa vzťahujú na stator, indexy 2 na rotorový obvod.

1.2.3. Riadenie otáčok

Otáčky asynchrónneho motora sú dané vzťahom :

$$n = \underline{n}_s \cdot (1 - s) = \frac{60 \cdot f_1}{p} \cdot (1 - s) \quad (6)$$

z ktorého vyplývajú možnosti riadenia otáčok a to:

- zmenou sklzu buď zmenou napájacieho napätia U_1 alebo rotorového odporu R'_2 (len u krúžkových motorov). Pretože hnací moment M je úmerný U_1^2 , znížením napájacieho napätia moment výrazne klesá. Zvýšením rotorového odporu R'_2 sa zväčšuje sklz a tým aj straty.
- zmenou frekvencie f_1 napájacieho napätia U_1 , ktoré ovplyvňuje magnetický tok, moment a tiež prúd motoru. Preto je treba súčasne s riadením kmitočtu f_1 riadiť aj napätie U_1 pomocou nepriameho meniča frekvencie. Je to hospodárny, plynulý, v súčasnosti najviac používaný spôsob regulácie otáčok.
- riadenie otáčok zmenou počtu pólů je stupňovité, po hrubých skokoch, (napr. 1 : 2, 1 : 3 a pod.) hodí sa len pre motory s kotvou nakrátko, ktoré sú potom po konštrukčnej stránke zložité – na statore je niekoľko samostatných vinutí, alebo sa to rieši zmenou zapojenia statorového vinutia alebo kombináciou oboch spôsobov [10].

1.2.4. Výkon a moment

Trojfázový asynchrónny motor je voči sieti súmerným spotrebičom, preto sa jeho výkon dá vyjadriť vzťahom:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \cdot \cos \varphi_n \quad [\text{W}] \quad (7)$$

kde U_n a I_n sú združené napätia a prúdy statorového vinutí,

$\cos \varphi_n$ je účinník.

Mechanický moment asynchrónneho motoru môžeme spočítať obecné zo vzťahu:

$$M = P / \omega \quad [\text{N.m}] \quad (8)$$

kde P – výkon [W],

ω - uhlová rýchlosť ,

n - otáčky motoru [min^{-1}]

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60} \quad [\text{rad}^{-1}] \quad (9)$$

alebo

$$M = \frac{P_{\delta}}{\omega_s} = \frac{P_{Cn2}}{\omega_s \cdot s} = \frac{3}{\omega_s} \cdot \frac{R_2'}{s} I_2'^2 \quad [\text{N.m}] \quad (10)$$

P_{δ} – mechanický výkon [W]

ω_s – synchronná uhlová rýchlosť,

I_2' – rotorový prúd prepočítaný na stator [A]

R_2' - odpor rotorového vinutia prepočítaný na stator [Ω].

$$\omega_s = \frac{2 \pi n_s}{60} \quad [\text{rad}^{-1}] \quad (11)$$

n_s – synchronné otáčky motoru [min^{-1}],

S ohľadom na parametre statora je potom rotorový prúd daný vzťahom:

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left\{ \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(X_{1\sigma} + X_{2\sigma}' \right)^2 \right\}}} \quad (12)$$

Rovnica **momentovej charakteristiky** po dosadení za I_2' do rovnice pre moment má tvar:

$$M = M_{zab} = \frac{3}{\omega_s} \cdot \frac{R_2'}{s} \cdot I_2'^2 = \frac{3}{\omega_s} \cdot \frac{R_2'}{s} \cdot \frac{U_1^2}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(X_{1\sigma} + X_{2\sigma}' \right)^2} \quad (13)$$

Tato rovnica určuje závislosť momentu na sklze a tým aj na otáčkach. Pri maximálnom momente (momente zvratu) sa príslušný sklz (**sklž zvratu** s_{zv}) určí z podmienky, že derivácia výrazu v menovateli vzťahu $M = f(s)$ je rovná nule. Potom je

$$s_{\max} = s_{zv} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{(R_1')^2 + X_{lk}^2}}, \quad \text{kde } X_{lk} = X_{\sigma 1} + X_{\sigma 2}' \quad (14)$$

Pre stroje nad 4 kW sa dá zanedbať odpor vinutia statoru, $R_1 = 0$, potom je

$$s_{\max} = s_{zv} = \pm \frac{R_2'}{X_{lk}} \quad (15)$$

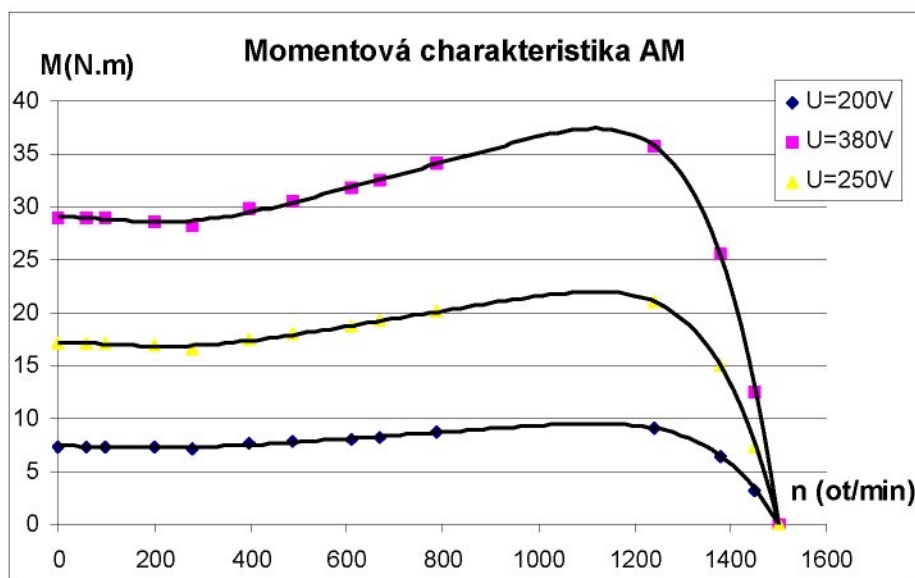
a **maximálny moment** asynchrónneho motora je:

$$M_{\max} = M_{zv} = \pm \frac{3}{\omega_s} \cdot \frac{U_1^2}{2(X_{1\delta} + X_{2\delta}')^2} \quad (16)$$

Úpravou predchádzajúcej rovnice pre moment dostaneme **Klossov vzťah** :

$$M = \frac{2M_{zv}}{\frac{s}{s_{zv}} + \frac{s_{zv}}{s}} \quad (17)$$

pomocou neho je možné zostrojiť **momentovú charakteristiku** $M = f(s)$ asynchrónneho motora (obr.2) pre konštantné napätia, ktoré sú pre $s < s_{zv}$ priamkou a pre $s > s_{zv}$ hyperbolou [10] .



Obr. č. 2 Momentová charakteristika AM

Následne z predchádzajúcich vzťahov (10, 11) je možné vypočítať menovitú účinnosť a to ako podiel výstupnej účinnosti ku vstupnej:

$$\eta = \frac{P_n}{P} \quad [-] \quad (18)$$

kde P_n – výstupný mechanický výkon na hriadeli motora [W],

P – vstupný výkon – elektrický príkon [W].

1.3. Frekvenčný menič

Predstavuje základný a pritom najzložitejší prvok riadiacej štruktúry celej sústavy elektrického pohonu s asynchrónnym motorom. Úlohou frekvenčného meniča je meniť sínusové napätie s konštantnou frekvenciou f , odoberaného z napájacej siete, na napätie premennej frekvencie, čím dosahujeme plynulé riadenie otáčok motoru. Použitím meniča frekvencie u pohonu s asynchrónnym motorom plníme zároveň dve funkcie: dodávame sústave elektrickú energiu, ktorá sa transformuje na energiu mechanickú a zároveň riadime veľkosť zvolenej veličiny. Podľa určitého požiadavku - algoritmu meníme skutočnú uhlovú rýchlosť na hriadeli alebo moment dodávaný motorom v čase. Najčastejšie býva regulovaná uhlová rýchlosť, resp. otáčky rotoru. Pre dobré využitie asynchrónneho motoru, zachovanie konštantnej hodnoty magnetického toku v každej fázy statora, musíme spravidla so zmenou frekvencie meniť aj efektívnu hodnotu napájacieho napätia.

Rozdelenie frekvenčných meničov:

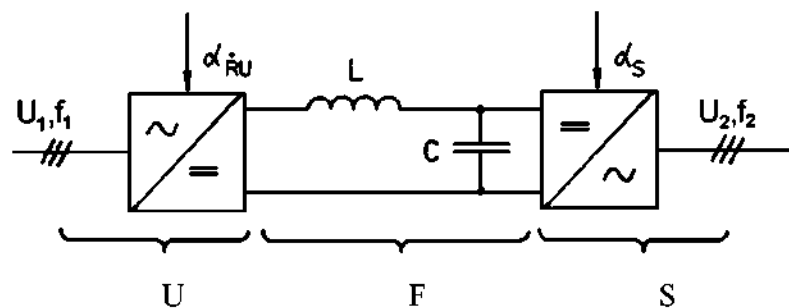
1. priame meniče kmitočtu (cyklokonvertory)
2. nepriame meniče kmitočtu:
 - nepriame meniče kmitočtu s prúdovým striedačom
 - nepriame meniče kmitočtu s napäťovým striedačom.

Vo výkonnom obvode meniča sa zapojujú filtre zložené z cievok a kondenzátorov [1].

1.3.1. Nepriami menič kmitočtu s napäťovým medziobvodom

Nepriami menič kmitočtu (obr.3) sa skladá z týchto častí:

- vstupného usmerňovača (väčšinou neriadeného), ktorý vstupné striedavé napätie a prúd o frekvencii f_1 = konštanta usmerní,
- jednosmerného medziobvodu v ktorom je zapojený LC filter (tlmivka, kondenzátor), v ktorom sa p- impulzové výstupné napätie z usmerňovača vyfiltruje a získa sa z neho stredná hodnota usmerneného napätia, a zo
- striedača, ktorý usmernené napätie premení na striedavé o frekvencii f_2 [2] .



Obr. č.3 Nepriami menič kmitočtu

U- usmerňovač, F- jednosmerný medziobvod (filter), S- striedač

Usmerňovač - je zdrojom jednosmerného prúdu a napätia pre jednosmerný medziobvod. Pri napájaní z trojfázovej napájacej siete sa používa najčastejšie riadený 3-fázový mostíkový usmerňovač. Zmenou uhlu zopnutia α_{RU} tyristorov usmerňovača sa môže riadiť výstupné napätie usmerňovača a tým tiež efektívna hodnota výstupného striedavého napätia meniča. V prípade požiadavku rekuperácie energie musí byť použitý riadený reverzačný usmerňovač.

Jednosmerný napäťový medziobvod - sa skladá z kondenzátoru C pripojeného paralelne k vstupným svorkám striedača S a tlmivky L . Kondenzátor zaisťuje napäťový charakter zdroja pre striedač a súčasne robí filtráciu výstupného jednosmerného napätia usmerňovača. Tlmivka v napäťovom medziobvode oddeľuje výstupné usmernené napätie usmerňovača od vyhladeného napätia na svorkách kondenzátoru C , zachytáva striedavú zložku usmerneného napätia a obmedzuje prúdové nárazy pri prechodných dejoch.

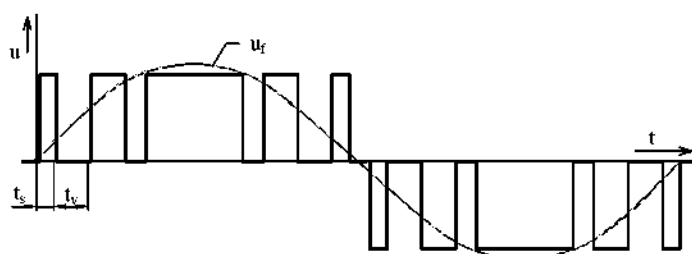
Výstupný striedač - reguluje zmenou riadiaceho uhlu α_S a dobou vodivosti tyristorov striedača frekvenciu výstupného napätia a prúdu.

Pokiaľ ma byť zachovaný rovnaký moment zvratu, musí byť dodržiavaný konštantný pomer napätia a frekvencie, čiže $U/f = \text{konštanta}$. Potom je stály aj magnetický tok statoru ϕ , pretože pre indukované napätie motoru U_1 platí vzťah (19), čo je približne rovné napájaciemu napätiu U a z neho potom vyplýva:

$$\phi = \frac{1}{4,44 \cdot N_1 \cdot k_{vl}} \cdot \frac{U}{f_1} = k \cdot \frac{U}{f} \quad (19)$$

Konštantný magnetický tok sa dá dosiahnuť dvomi spôsobmi regulácie:

1. **Amplitúdová regulácia** – na vstupe meniča je riadený usmerňovač, ktorý reguluje veľkosť napätia v jednosmernom medziobvode. Striedač je napájaný regulovaným napätím, ktorého veľkosť sa mení podľa výstupnej frekvencie striedača tak, aby $U/f = \text{konštanta}$.
2. **Šírkovo - pulzná modulácia** (PWM) - na vstupe meniča je neriadený usmerňovač, takže jednosmerný medziobvod má konštantné napätie. Zmena výstupného napätia meniča sa deje priamo v striedači *pulzne - šírkovou moduláciou*, obr. č. 4. V tomto prípade sa nemení výška ale šírka impulzov jednosmerného napätia. Vhodnou voľbou šírky impulzov a medzier je možné dosiahnuť, že vo výstupnom napätí bude nízky obsah vyšších harmonických, prípadne niektoré harmonické budú úplne vylúčené.



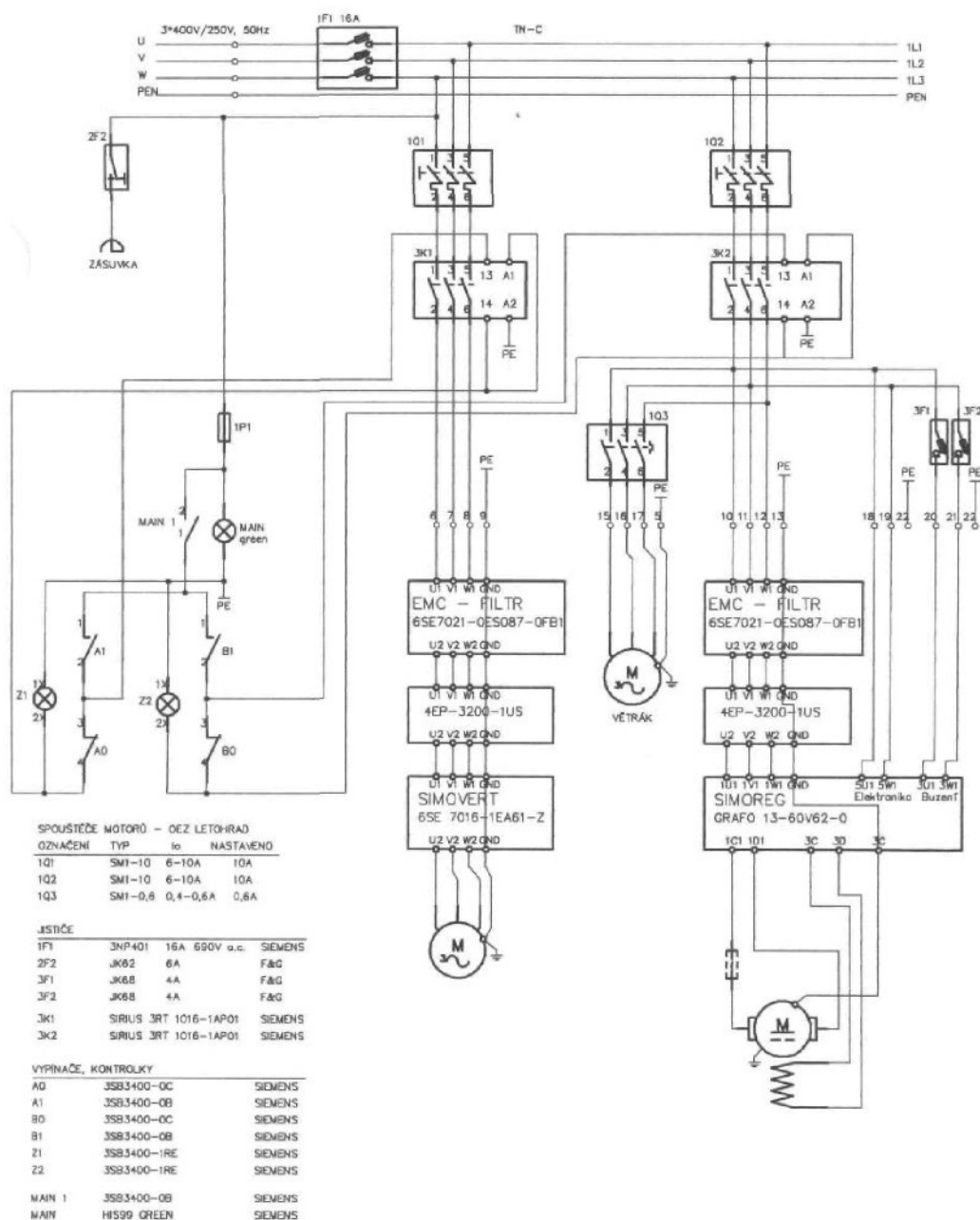
Obr.4 Princíp šírkovo - pulznej modulácie výstupného napätia striedača

Zmenou frekvencie výstupného napätia striedača sa menia otáčky točivého magnetického poľa ω_1 a tým aj otáčky motora ω_m . Regulačný rozsah je daný schopnosťami meniča aj motora [9].

2. Porovnanie chovania AM napájaného zo siete oproti napájanie z meniča frekvencie

Úlohou bolo porovnať chovanie zaťaženého asynchrónneho motora napájaného sínusovým napätím s frekvenciou 50 Hz a nesínusovým napätím z meniča frekvencie pri

skalárnom a vektorovom riadení. Obidve napájania boli merané v stave naprázdno a tiež so záťažou. Zaťažovanie sa robilo pomocou jednosmerného motora riadeného meničom Simoreg.



Obr. č.5 Silové zapojenie meranej sústavy

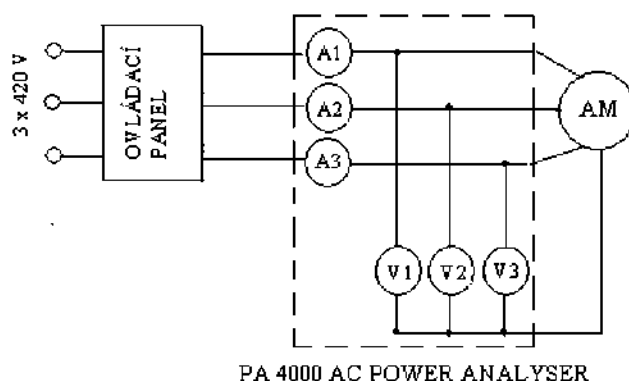
Pri všetkých meraniach sú zapojenia kreslené len schematicky, ale všade sa nachádzajú ochranné prvky ako je to zobrazené na obr. č. 5

2.1. Asynchrónny motor napájaný sínusovým napätím

AM má minimálne nároky na údržbu, dobrú dynamiku a dá sa použiť v celom výkonovom rozsahu. Problémom pri spúšťaní tohto motora je veľký záberový prúd, ktorý sa pri nulových otáčkach rovná prúdu nakrátko a je niekoľkonásobkom menovitého prúdu. Ďalším problémom môže byť aj veľký záberový moment, ktorý môže spôsobiť nežiaduci ráz v poháňanej sústave [11]. Pri napájaní AM zo siete nedochádza k vytváraniu vyšších harmonických, motor má tichší chod a má menšie straty. Po celú dobu napájania zo siete má AM konštantnú frekvenciu.

Pri meraní asynchrónneho motora napájaného sínusovým napätím bol motor napojený priamo na zdroj napätia, ktorým bola 3-fázová napájacia sieť 400/230 V 50 Hz.

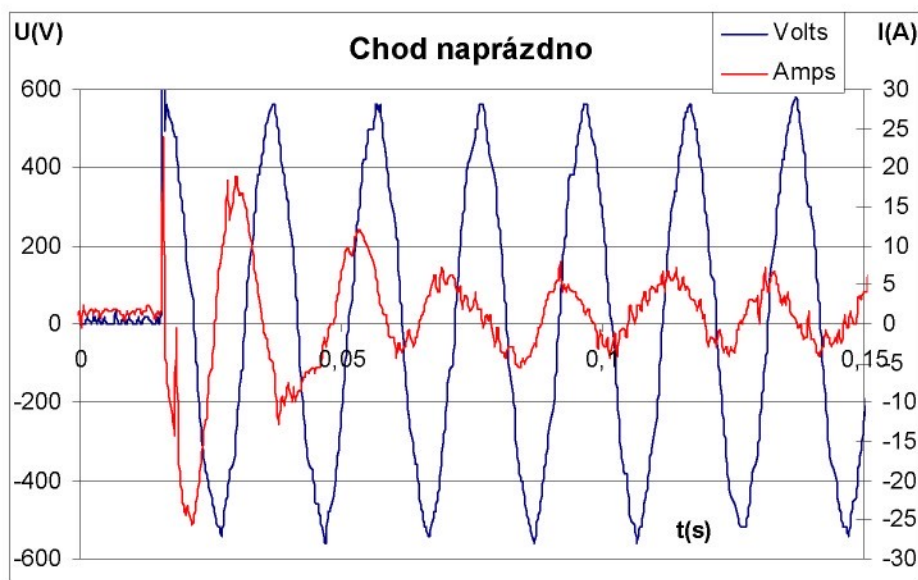
Ako prvé boli zmerané charakteristiky **AM pri chode naprázdno**, kedy bol motor cez spínacie a ochranné prístroje pripojený na napájaciu sieť a otáčal sa otáčkami naprázdno $n_s = 1000 \text{ ot.min}^{-1}$. Na zobrazenie priebehu vstupného napätia a prúdu bol použitý osciloskop typu Tektronix THS720R.



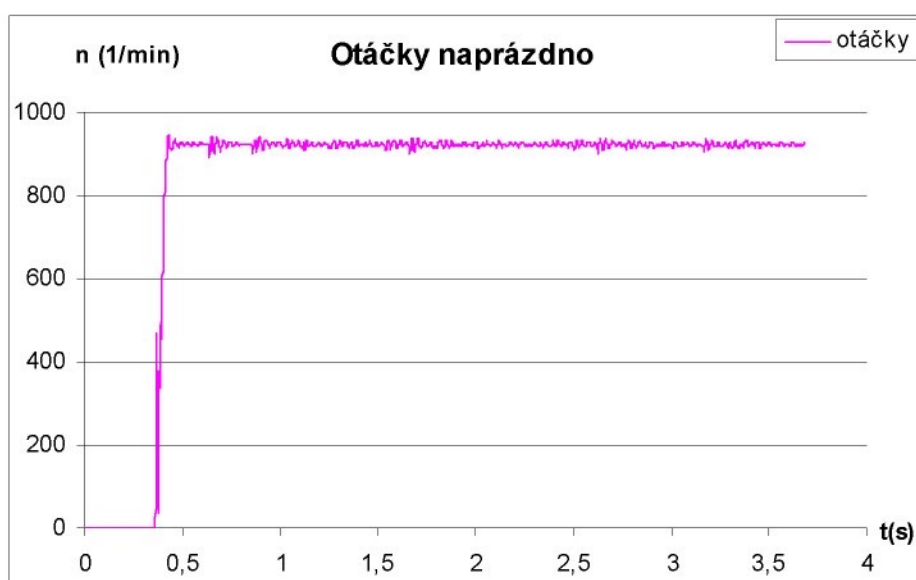
Obr. č. 6 Schematické zapojenie AM pri pripojení na napájaciu sieť – chod naprázdno

Tab. č. 1 Vstupné hodnoty odčítané z PA 4000 AC POWER ANALYSER pri chode naprázdno

$U = 387,9 \text{ V}$	$P_c = 1705,6 \text{ VA}$
$I = 2,533 \text{ A}$	$\cos \varphi = 0,148 \text{ PF}$
$P = 259,7 \text{ W}$	$f = 50 \text{ Hz}$
$Q = 1684,5 \text{ VAR}$	



Graf č.1 Získané - výstupné hodnoty pri chode naprázdno



Graf č.2 Získané - výstupné hodnoty otáčok pri chode naprázdno

V grafe č. 1 je zobrazený priebeh napájacieho napätia a prúdu pri pripojení asynchrónneho motora na sieť bez záťaže.

Časť grafu, keď hodnoty $U(V)$ a $I(A)$ sú nulové zodpovedá stavu pred pripojením na sieť – tomuto stavu v grafe č.2 otáčok odpovedajú nulové otáčky rotora.

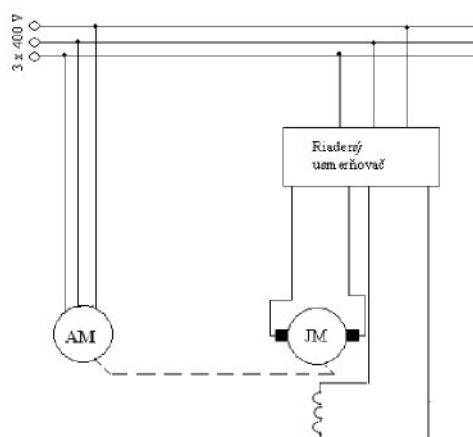
K pripojeniu na trojfázovú sieť došlo v okamihu, keď priebeh združeného napätia siete zobrazený na grafe č.1 dosahoval hodnotu blízku špičkovej hodnote, čo sa na priebehu prúdu zobrazilo dosiahnutím krátkej špičky prúdu – 24 A, po čase 0,001 s predchádza

hodnota prúdu I (A) nulou a do záporných hodnôt so zákrmitom, kde dosiahla hodnotu 25 A. Dĺžka tohto priebehu na časovej osi už zodpovedá frekvencii siete 50 Hz. Počas nasledujúcich dvoch periód dochádza k postupnému poklesu hodnoty prúdu I a jej ustáleniu na hodnotu 2,5 A. Trvanie celého deja – pripojenie napájacieho napätia až ustálenie hodnôt chodu naprázdno trvalo 0,05 s, čo zodpovedá v *grafe č. 2* priebehu otáčok, ktoré po uvedenom čase 0,05 s dosiahli ustálenú hodnotu otáčok pre chod naprázdno, ktorú potom motor ďalej udržiava. Moment motora zodpovedá hodnote pre chod naprázdno, sklz zodpovedá sklzu pre chod naprázdno. Prúd naprázdno pozostáva zo zložky jalovej a činnnej, pri chode naprázdno má jalová zložka väčšiu hodnotu ako pri menovitom zaťažení a zhoršuje účinník. Straty naprázdno sa skladajú z mechanických strát v železe a jalových strát vo vinutí motora.

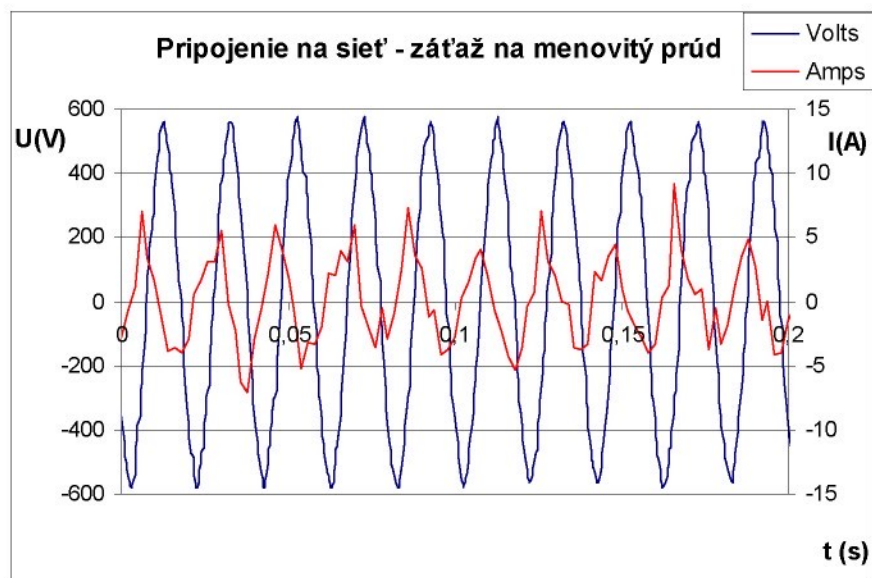
Ďalej boli zmerané charakteristiky **AM so záťažou**. AM bol zaťažovaný jednosmerným motorom pomocou meniča Simoreg na menovitý prúd. Na zobrazenie priebehu napätia a prúdu bol použitý osciloskop typu Tektronix THS720R, pre získanie vstupných veličín bol použitý *PA 4000 AC POWER ANALYSER*.

Tab. č.2 Vstupné hodnoty odčítané z PA 4000 AC POWER ANALYSER pri záťaži:

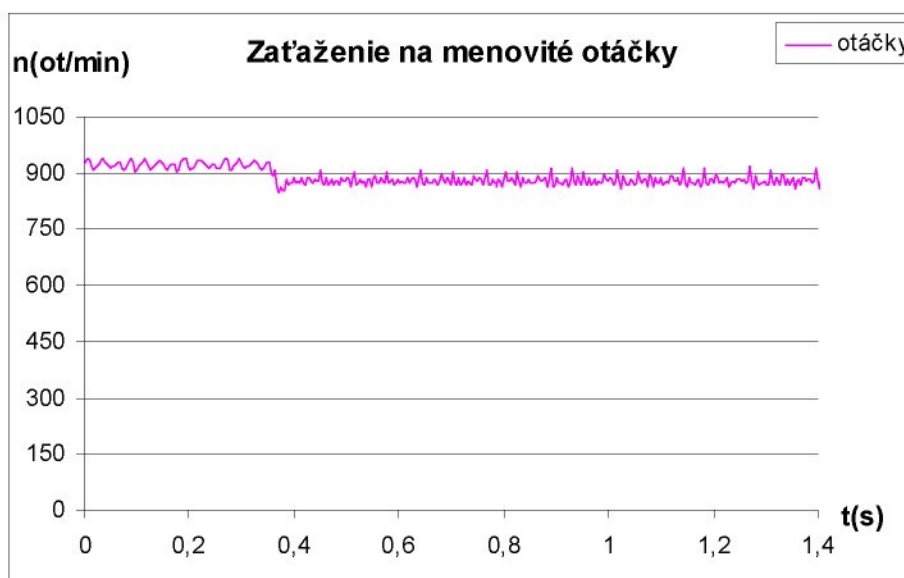
$U = 388,0 \text{ V}$	$P_c = 2,664 \text{ kVA}$
$I = 3,850 \text{ A}$	$\cos \varphi = 0,706 \text{ PF}$
$P = 1787,9 \text{ W}$	$f = 50 \text{ Hz}$
$Q = 1830,6 \text{ VAR}$	



Obr. č. 7 Schematické zapojenie AM pri pripojení na napájaciu sieť – so záťažou



Graf č.3 Získané - výstupné hodnoty pri záťažení na menovitý prúd



Graf č.4 Priebeh výstupných otáčok pri menovitom záťažení.

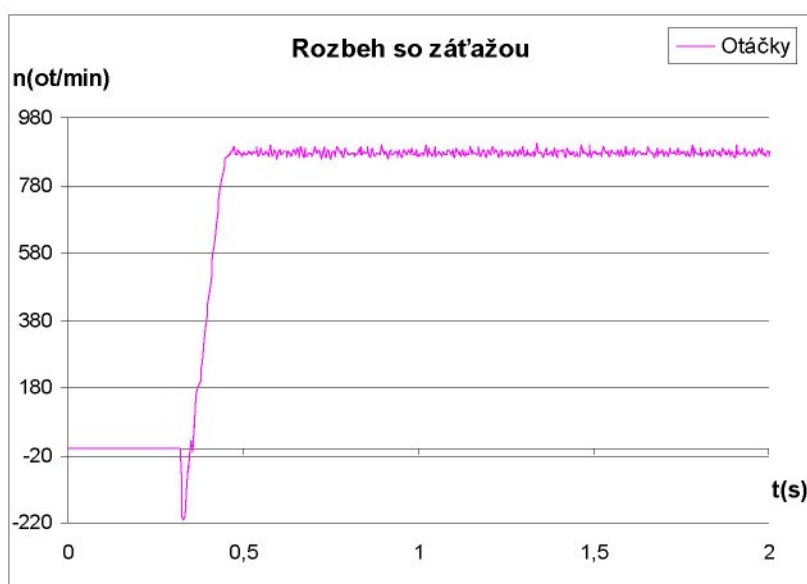
V grafe č.3 časovej závislosti U a I je zobrazená ustálená časť priebehov pre záťaž na menovitý prúd, ktorého hodnota v grafe zodpovedá hodnote uvedenej na štítku motora – 3,9 A., je to stav keď moment dosahuje menovitú hodnotu, tiež tak aj otáčky a sklz. Analýzou grafu možno určiť hodnotu φ cca. 41° čo je pre $\cos \varphi = 0,75$. Pri menovitom záťažení rastie činná zložka prúdu, čím sa účinník zlepšuje.

V ustálenom stave v grafe č. 4 „zaťaženia na menovité otáčky,, vidieť zníženie otáčok z 925 ot./min. odpovedajúce nezaťaženému motoru na otáčky 870 ot./min. a tým dochádza aj k zmene sklzu oproti hodnote pre nezaťažený motor:

925 ot./min. zodpovedá sklzu 0,075 (7,5%)

870 ot./min. zodpovedá sklzu 0,013 (13%)

V grafe č.4 „zaťaženie na menovité otáčky“ vidieť, že ustálenie otáčok z otáčok naprázdno po pripojení záťaže trvá 0,035s, pričom na krivke otáčok sa objaví pokles na 854 ot./min., ktorý trvá 0,03s., potom otáčky nadobudnú hodnotu 880 ot./min., ktorá sa už vzhľadom na zaťaženie konštantným momentom nemení.



Graf č. 5 Rozbeh so záťažou

V grafe č. 5 je vidieť, že samotný dej rozbehu trvá od pripojenia napätia na motor až po ustálenie hodnoty otáčok na 880 ot./min. 0,145s, čo predstavuje približne trojnásobok času pri rozbehu bez záťaže (naprázdno). Vzhľadom na konštantný zaťažovací moment potom už nedochádza k zmene otáčok.

Momentová charakteristika

Z parametrov AM s kotvou bola vypočítaná a zostrojená momentová charakteristika meraného asynchrónneho motora zo vzťahov (č. 13, 14, 16).

Všetky hodnoty sú vzťahované k menovitej impedancii, čo odpovedá hodnote 100%

$$Z_1 = U_{1n} / I_{1n} = 400/3,9 = 102,564 \, \Omega \dots\dots\dots 100\%$$

Hodnoty parametrov získaných z frekvenčného meniča:

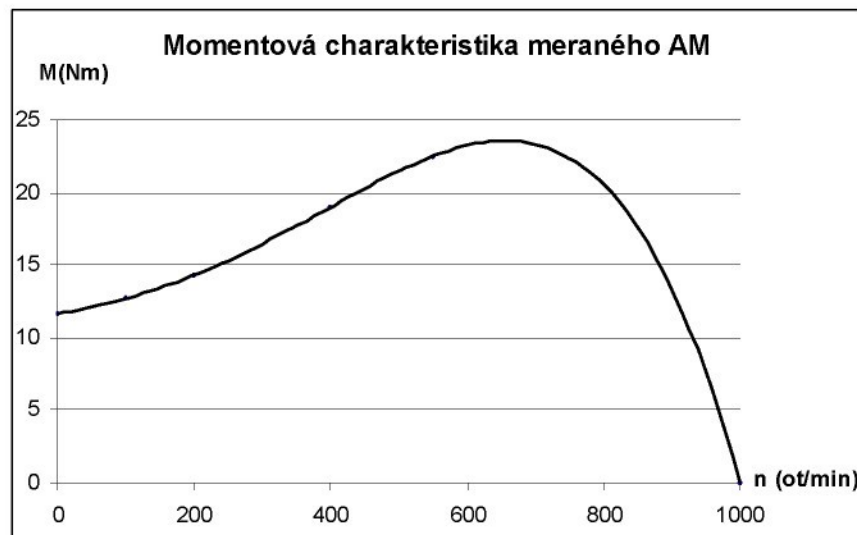
$R_1 = 7,85 \%$ čo odpovedá $8,05 \Omega$

$R_2 = 6,79 \%$ čo odpovedá $6,964 \Omega$ $R'_2 = p^2 \cdot R_2 = 62,676 \Omega$

$M_{zab} = 11,65 \text{ N.m}$

$M_{max} = M_n \cdot 1,5 = 22,5 \text{ N.m}$

$s_{zv} = 0,4463 \Rightarrow (44,6\%)$



Obr. č. 8 Momentová charakteristika meraného asynchrónneho motora

2.2. Asynchrónny motor napájaný nesínusovým napätím

Otáčky AM napájaného nesínusovým napätím z meniča frekvencie sa dajú regulovať plynule. Toto napájanie je však sprevádzané znížením výkonu, životnosti a účinnosti motora. Vznikajú napäťové prepätia, zväčšuje sa oteplenie motora, dochádza k zvýšenému namáhaniu mechanických častí a zvýšeniu hlučnosti motora.

Zníženie výkonu je spôsobené meničom frekvencie, ktorý pre svoju prevádzku spotrebováva časť príkonu do motoru. Napäťové prepätia vznikajú vplyvom spínacích polovodičových prvkov frekvenčného meniča.

Pri napájaní nesínusovými prúdmi s veľkým množstvom vyšších harmonických zložiek vznikajú v asynchrónnom motore veľké prechodové momenty, ktoré môžu prevyšovať menovité momenty a môžu spôsobiť zastavenie motora. Tieto momenty spôsobujú zvýšené namáhanie mechanických častí, najmä ložísk. Spôsobujú hlučný chod a môžu byť zdrojom závažnej poruchy. Kolísanie otáčok a momentu môže spôsobiť

rezonanciu celej poháňanej sústavy, zloženej v podstate z R, L, C prvkov, pri ktorej môže dôjsť i k havárii [11].

V časti 3 .1. je popísané meracie pracovisko a tiež aj možnosti nastavania frekvenčného meniča. Preto v tejto časti spomeniem len parameter v ktorom sa nastavuje skalárne a vektorové riadenie. V parametri P 100 v software Simovis sa dá nastaviť celkom 6 riadení a regulácii a to:

- skalárne riadenie bez / so snímačom otáčok,
- skalárne riadenie s aplikáciou v textilnom priemysle,
- vektorové riadenie bez /so snímačom otáčok,
- vektorové riadenie s reguláciou momentu so snímačom otáčok.

Frekvenčný menič bol v parametre 100 nastavený na skalárne riadenie so snímačom otáčok pri skalárnom riadení a vo vektorom na vektorové riadenie so snímačom otáčok. AM bol meraný v týchto stavoch pri chode naprázdno a tiež aj so záťažou. Otáčky motoru boli nastavené na 925 ot/min, čo odpovedá menovitým otáčkam pri 100% napájacieho napätia.

2.2.1. Skalárne a vektorové riadenie

Regulačné štruktúry riadenia striedačov prešli v poslednej dobe veľkým vývojom. Od skalárnych metód k metódam založeným na vektorovom riadení.

Skalárny spôsob riadenia polovodičových meničov frekvencie je pomerne jednoduchý, ale neumožňuje dosiahnuť špičkové dynamické parametre pohonu. Je používaný len v starších generáciách pohonov. Dobré vyhovuje v ustálených stavoch alebo pri pomalých zmenách zaťaženia alebo otáčavej rýchlosti. Toto riadenie sa rozdeľuje na:

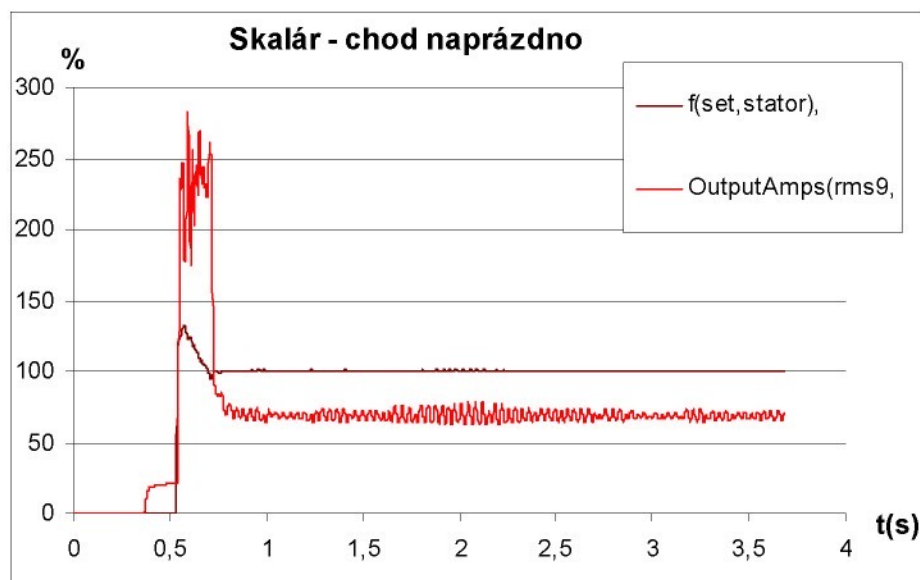
- riadenie statorového prúdu a sklzovej frekvencie
- riadenie s konštantným pomerom **napätie/frekvencia** [4]

Tab. č. 3 Vstupné hodnoty pre skalárne riadenie odčítané z PA 4000 AC POWER ANALYSER

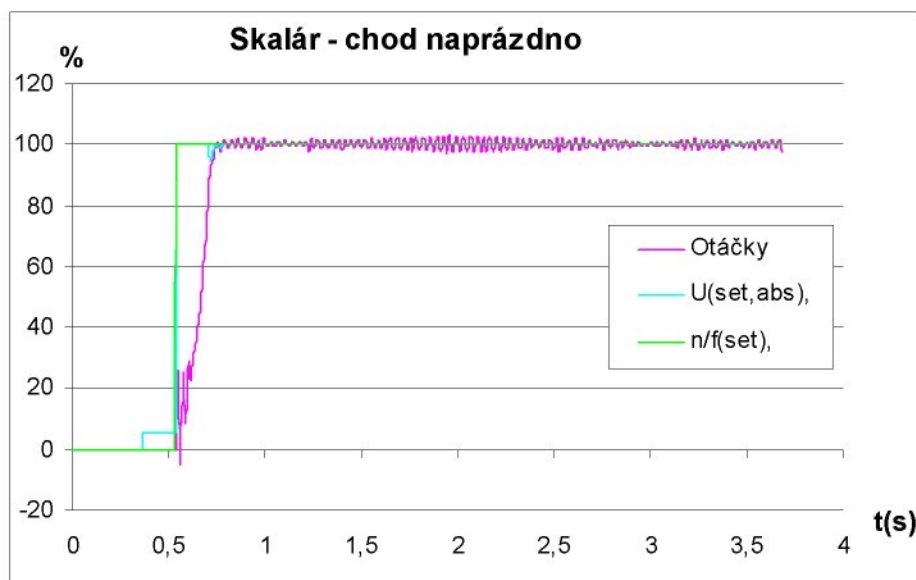
Chod na prázdno	So záťažou
$U = 270,1 \text{ V}$	$U = 261,9 \text{ V}$
$I = 2,851 \text{ A}$	$I = 3,587 \text{ A}$
$P = 88,3 \text{ W}$	$P = 506,6 \text{ W}$
$Q = 710,1 \text{ VAR}$	$Q = 789,4 \text{ VAR}$
$P_c = 715,2 \text{ VA}$	$P_c = 1082,5 \text{ VA}$
$\cos \varphi = 0,81 \text{ PF}$	$\cos \varphi = 0,656 \text{ PF}$
$f = 50 \text{ Hz}$	$f = 50 \text{ Hz}$

V nasledujúcich grafoch je vyjadrená časová závislosť hodnôt premenných v %, nejedná sa o priame vyjadrenie priebehov premenných ako vo vyššie popisovaných grafoch č. 1 - 5.

Zobrazený je priebeh premenných meniča – $U_{(\text{set}, \text{abs})}$, $f_{(\text{set}, \text{stator})}$, $n/f_{(\text{set})}$, $I_{\text{sq}(\text{set})}$, $\text{Output Amps}_{(\text{rms}9)}$ a otáčok motora.

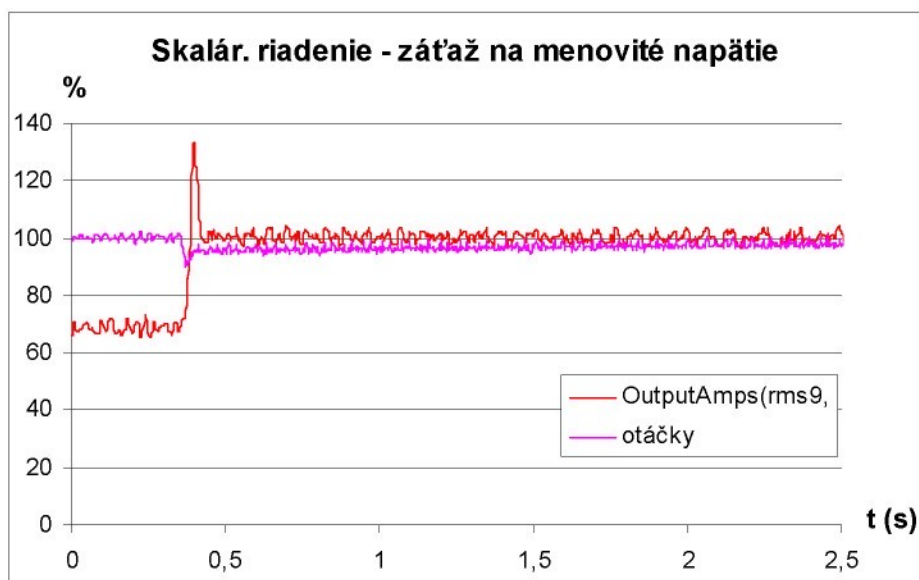


Graf č.6 Výstupné hodnoty pri skalárnom riadení- chod naprázdno

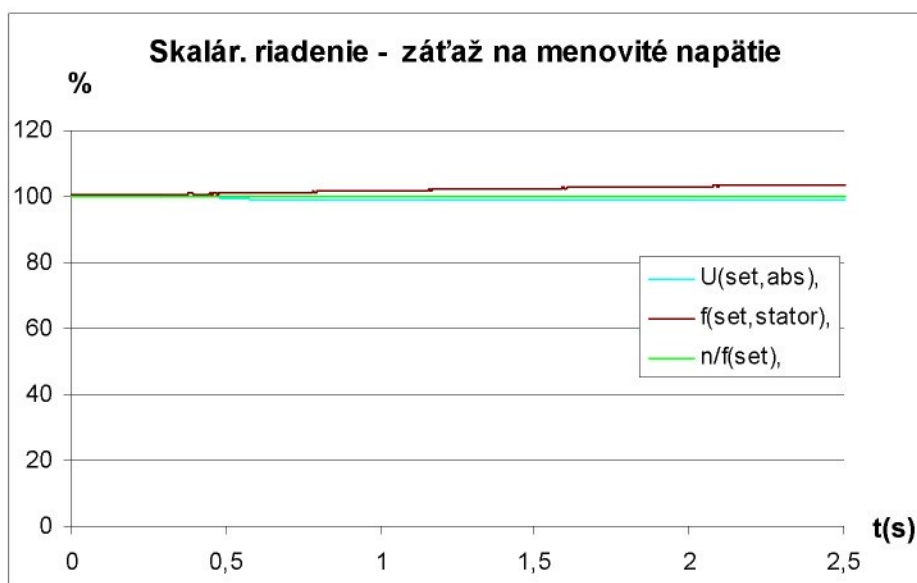


Graf č.7 Výstupné hodnoty pri skalárnom riadení- chod naprázdno

V grafe č. 6 je vidieť, že na motor, ktorý je v „klúde“, nezaťažovaný, je v určitom časovom okamihu privedené z meniča napätie o veľkosti 5% menovitého napätia a prúd motorom dosiahne hodnotu asi 24% hodnoty výstupného prúdu. Ostatné hodnoty premenných meniča sú zatiaľ nulové, otáčky motora sú tiež nulové. K ďalšej zmene premenných z meniča dochádza v grafe č.7, v čase 0,52s keď hodnota napätia $U_{(set, abs)}$, požadovaných otáčok $n/f_{(set)}$ meniča dosiahne hodnotu 100% menovitých hodnôt. Hodnota frekvencie $f_{(set, stator)}$ dosahuje 132% potom postupne klesá a po čase cca. 0,15s dosiahne ustálenú hodnotu 100%. V tom istom čase 0,52 s dochádza v grafe č. 6 ku skokovému nárastu hodnôt výstupného prúdu OutputAmps (rms 9), ktorý po dobu 0,25 s kmitá a následne sa ustáľuje na hodnote 68 % menovitého prúdu a počas ďalšieho merania sa nemení. V grafe č. 7 otáčky motora sa v prvých okamihoch nárastu hodnôt menia na hodnotu 25% potom s poklesmi až prekmitom do zápornej hodnoty 5% dôjde po 0,1s k ustálenému nárastu otáčok, ktoré v časovom okamihu 0,2s od dosiahnutí napájacieho napätia $U_{(set, abs)}$ 100% dosiahnu hodnotu 100% menovitých otáčok, pričom pri dosiahnutí hodnoty 95% dochádza ku krátkodobému poklesu $U_{(set, abs)}$ o 5%, ktorý za 0,01s dosiahne opäť hodnotu 100% menovitého napätia.



Graf č.8 Výstupné hodnoty pri skalárnom riadení- zatažovanie na menovité napätie



Graf č.9 Výstupné hodnoty pri skalárnom riadení- zatažovanie na menovité napätie

V grafoch č.8 a 9 je zobrazený časový priebeh premenných meniča, a to napájacieho napätia $U_{(set, abs)}$, frekvencie $f_{(set, stator)}$, požadovanej hodnoty otáčok $n/f_{(set)}$, výstupného prúdu $Output\ Amps_{(rms\ 9)}$ a otáčok motora, ktorý beží naprázdno a v určitom časovom okamihu zodpovedajúcom 0,55s je pripojená konštantná záťaž 15 Nm.

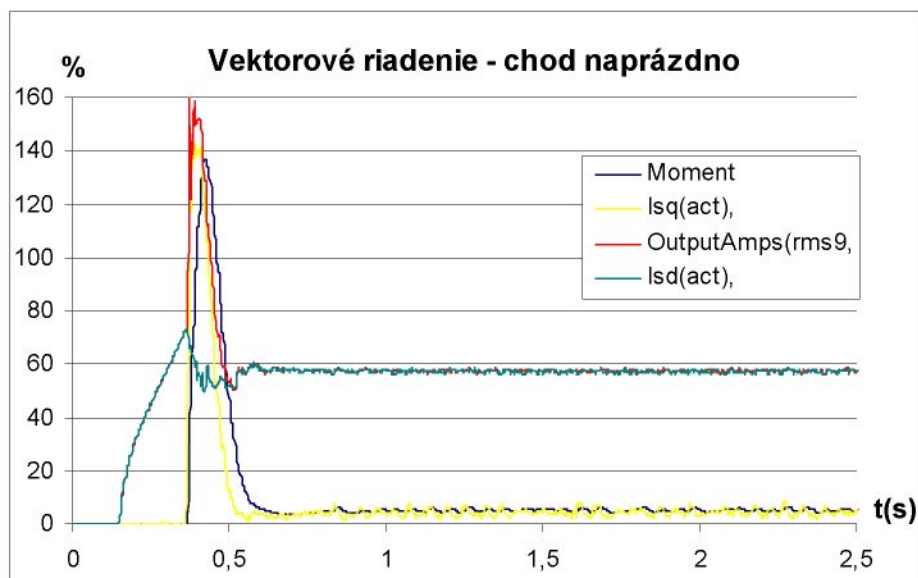
Po dobu chodu naprázdno dosahujú všetky premenné hodnoty hodnôt ako sú opísané v predchádzajúcom prípade „Skalár – chod naprázdno“. Premenné $U_{(set, abs)}$, $n/f_{(set)}$ zostávajú po pripojení záťaže bez zmeny na 100 % hodnoty. Pripojenie záťaže spôsobí

pokles otáčok na hodnotu 90% a zároveň zvýšenie hodnoty výstupného prúdu Output Amps_(rms9) z hodnoty 68 % zodpovedajúcej chodu naprázdno na hodnotu 135 % a tiež hodnota premennej $f_{(set, \text{ stator})}$ sa zväčší o 2,5 % čo sa prejaví na raste otáčok, ktoré keď dosiahnu 95% začína pokles hodnoty Output Amps_(rms9) a ustálenie na novej hodnote zodpovedajúcich prevádzke motora s daným zaťažením 15 Nm, pričom stredná hodnota priebehu Output Amps je 100 % menovitého prúdu , ktorá zostáva nezmenená počas ďalšieho merania. Hodnota frekvencie $f_{(set, \text{ stator})}$ postupne narastá, jej hodnota na konci grafického znázornenia v čase 2,5 s dosahuje hodnotu 105% čo sa na otáčkach motora prejavovalo ich nárastom na hodnotu 97,5% menovitých otáčok.

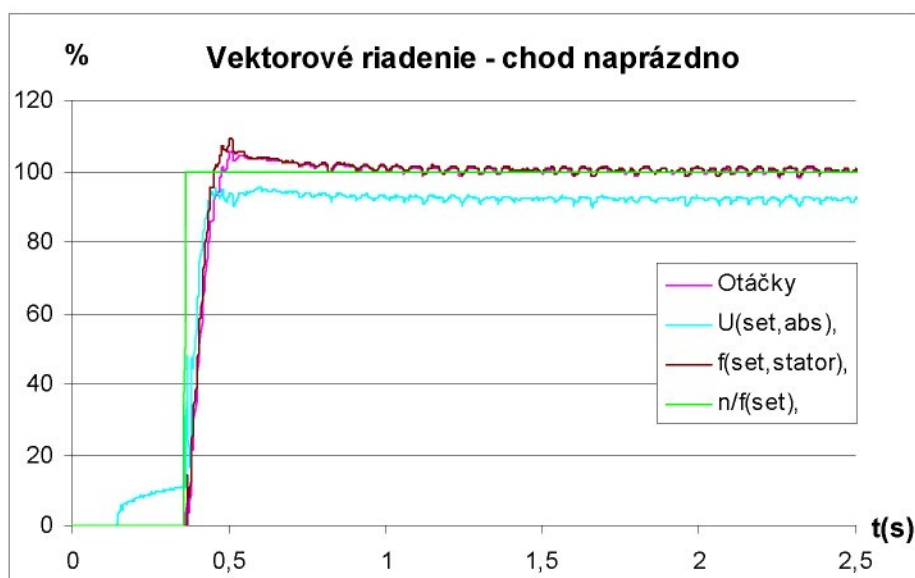
Vektorové riadenie sa používa pre dynamicky náročnejšie pohony. Dynamické riadenie umožňuje dosahovať vysokú presnosť riadenia elektromechanických veličín. Uplatňuje sa predovšetkým v náročnejších polohových a rýchlostných servopohonoch. Metoda je založená na rýchlom meraní okamžitého prúdu, napätia, magnetického toku a výpočte parametrov motoru, aby v každom okamžiku bolo možné rozhodnúť, ako je nutné v ďalšom okamžiku zopnúť prvky strieďača. Cieľom vektorového frekvenčne - amplitúdového riadenia je dosiahnuť riadenie momentu a magnetického toku AM. Pojem „vektorové riadenie,, vychádza zo skutočnosti, že pri takomto spôsobe je riadenou veličinou modul aj fáza vektora statorového napätia alebo prúdu AM [4] [5] .

Tab. č 4 Vstupné hodnoty pri vektorovom riadení odčítané z PA 4000 AC POWER ANALYSER:

Chod na prázdno	So záťažou
U = 266 V	U = 254,1V
I = 2,1812,851 A	I = 3,343A
P = 94,13W	P = 629,5W
Q = 572,4 VAR	Q = 776,3 VAR
P _c = 585,8 VA	P _c = 861,2 VA
cos φ = 0,137 PF	cos φ = 0,638 PF
f = 50 Hz	f = 50 Hz



Graf č. 10 Výstupné hodnoty pri vektorovom riadení- chod naprázdno



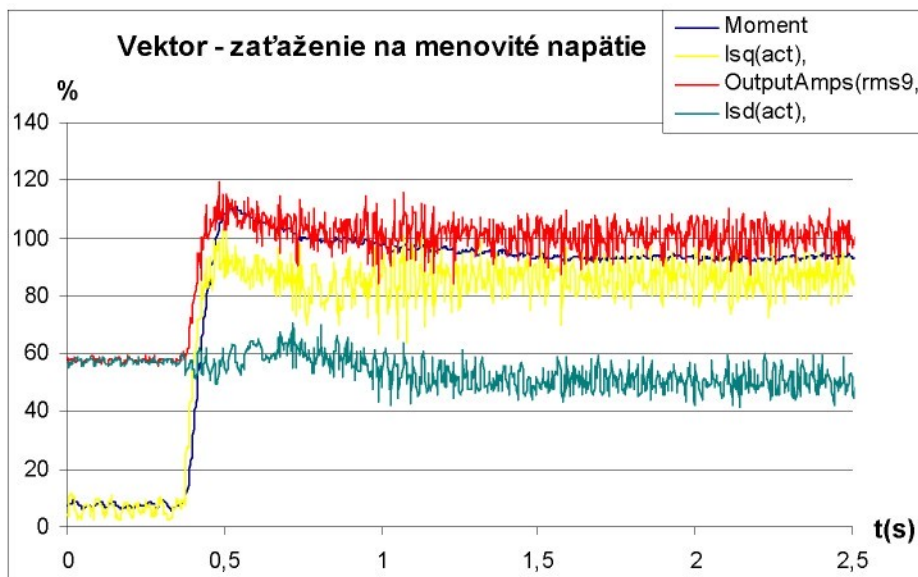
Graf č. 11 Výstupné hodnoty pri vektorovom riadení- chod naprázdno

V grafe č. 10 na motor v kľude s hriadeľom bez záťaže je z meniča privedené v čase 0,14 s napätie U o veľkosti 10% z menovitej hodnoty, ktoré spôsobí nárast prúdu I_{sd} , ostatné hodnoty ostávajú nulové.

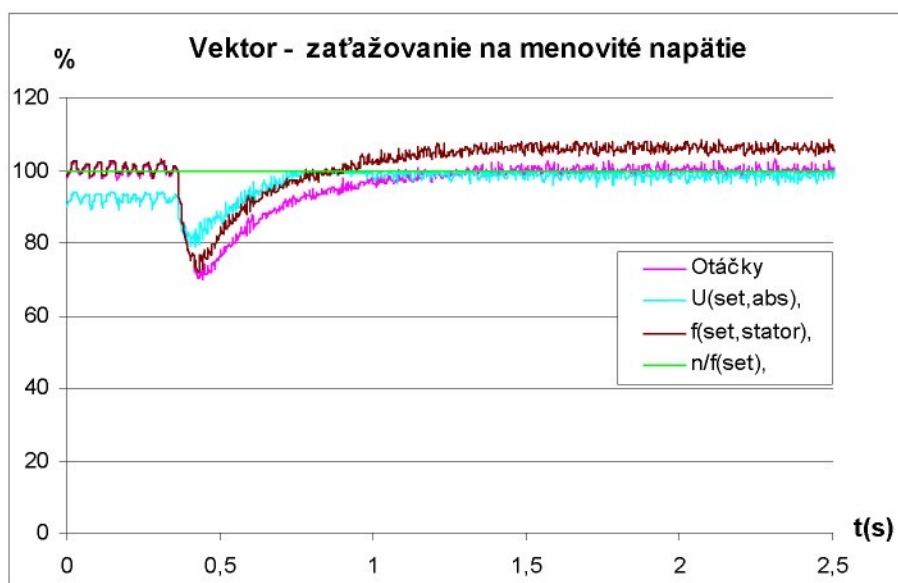
V grafe č. 11, v čase 0,35 s dôjde k skokovému zvýšeniu premennej $n/f_{(seb)}$ na hodnotu 100% požadovaných otáčok, postupne narastá napájacie napätie, ktoré v čase 0,45

s dosiahne hodnotu blízku menovitej hodnote. Narastajú hodnoty $f_{(\text{set, stator})}$ a otáčky, ktoré dosiahnu hodnoty 110% menovitých hodnôt a potom klesajú, až v čase 0,8 s na časovej osi sú ich hodnoty ustálené na menovitých hodnotách (100%).

Z grafu č. 10 je ďalej vidieť, že prúd OutputAmps (rms 9) skokovo vystúpi na hodnotu 160% a potom klesá, až sa v čase 0,6s ustáli na hodnote 57,5 % menovitého prúdu. Moment v čase 0,45 s narastie na hodnotu 135% menovitého momentu, následne klesá a v čase 0,60s sa ustáli na hodnote odpovedajúcej chodu naprázdno.



Graf č. 12 Výstupné hodnoty pri vektorovom riadení- zaťaženie na menovité napätie



Graf č. 13 Výstupné hodnoty pri vektorovom riadení- zaťaženie na menovité napätie

Z grafov č. 12 a 13 je vidieť, že na motor bežiaci bez záťaže je v čase 0,375s na časovej osi pripojený zaťažovací moment $M=15\text{Nm}$, čo sa prejaví krátkodobým poklesom napájacieho napätia, nárastom prúdu OutputAmps, poklesom hodnôt $f_{(\text{set.})}$, otáčky klesnú krátkodobo na hodnotu 70% menovitých otáčok, potom všetky hodnoty narastajú a v čase 1,3s dosiahnu ustálené hodnoty, odpovedajúce danému zaťaženiu. Prúd OutputAmps sa ustáli v čase 1s na menovitú hodnotu 100%, moment sa ustáli v čase 1,5s.

2.3. Vyššie harmonické

Menič je zostavený z nelineárnych, polovodičových prvkov, ktoré svojimi spínacími vlastnosťami spôsobujú, že sa z napájacej siete odoberajú prúdové impulzy neharmonického priebehu. [6] Meniče pre striedavé pohony sa napájajú z pravidla zo siete a na výstupe vytvárajú regulované trojfázové napätie. Najjednoduchšie striedavé meniče menia iba strednú hodnotu výstupného napätia a frekvenciu ponechávajú bez zmeny. Sú to tzv. parametrické, fázovo riadené meniče a používajú sa v pohonoch pomerne zriedkavo a to len vtedy, keď ide o malý regulačný rozsah, alebo iba o zabezpečenie mäkkého rozbehu. Ich použitie môže byť výhodné vtedy, keď sa nimi reguluje napätie motora v závislosti od jeho zaťaženia tak, aby sa optimalizovala jeho účinnosť a účinník.

Pri návrhu frekvenčne regulovaného motora treba brať do úvahy niektoré obmedzenia ako napr.:

1. vplyv vyšších harmonických v napätí a prúdu na moment a straty motora,
2. vplyv chladenia pri zmenšených otáčkach rotora.

Každý menič frekvencie produkuje vyššie harmonické napätia, ktoré zapríčiňujú zvýšenie strát v motore vzhľadom k čistému harmonickému napájaniu a zníženie momentu pri danej efektívnej hodnote prúdu, ktorého vyššie harmonické zložky neprispievajú k momentu základnej harmonickej. Pre bežné striedače s obdĺžnikovým výstupným napätím sa výkon motora zníži asi o 10 až 15% [7].

Pre riadenie rýchlosti AM zmenou napájacieho kmitočtu sú nutné meniče kmitočtu, ktoré sú schopné dodať AM nielen potrebný činný výkon, ale aj potrebný jalový výkon. Nepriamy menič kmitočtu s napäťovým medziobvodom je najčastejšie používaný v regulovaných pohonoch s AM. Vytvárajúci pevnú trojfázovú sústavu napätí s určitým obsahom vyšších harmonických zložiek. Na napäťový menič možno podobne ako na sieť

pripojiť ľubovoľnú záťaž, pričom však treba dbať na dovolené zaťaženie meniča vrátane prúdových nárazov pri zapnutí. Rozbeh asynchrónneho motora možno s výhodou uskutočniť postupným zvyšovaním frekvencie, čím sa odstránia veľké záberové prúdy [5].

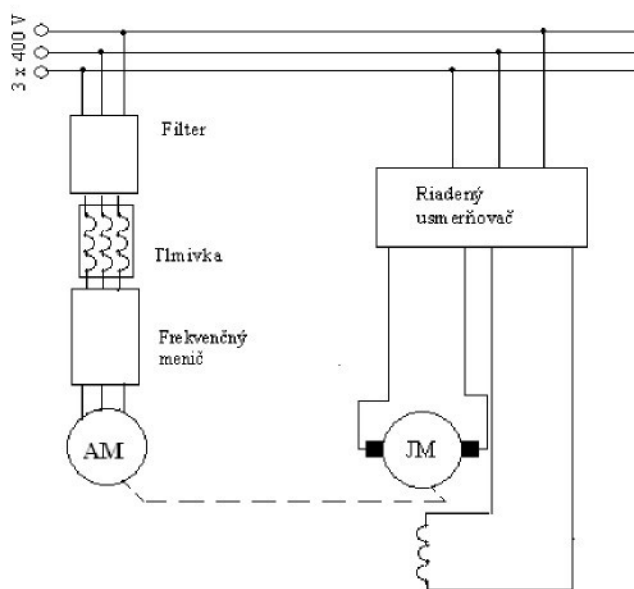
Na odstránenie vyšších harmonických zložiek napätí, prúdových nárazov a ďalších nepriaznivých vplyvov sa do obvodov zapájajú tlmivky a to buď ako vstupné, alebo filtračné.

2.3.1. Tlmivka

Spoločným rysom odrušovacích prvkov je to, že obsahujú jadro z feromagnetického materiálu aby mali menšie rozmery a aby sústreďovali magnetický tok, a tým sa automaticky radia k nelineárnym prvkom.

Tlmivka plní niekedy súčasne dve funkcie, napríklad ako vstupná tlmivka obmedzuje prúdové nárazy pri zapínaní a prípadnom skrate na meniči a súčasne sa využíva na sieťovú komutáciu tyristorov.

Vstupné tlmivky sa zapojujú medzi napájaciu sieť a vstupný usmerňovač meniča frekvencie a ich úlohou je vytvoriť určitú reaktanciu, ktorou sa čiastočne oddelí usmerňovač od siete, obmedzí sa skratový prúd, znížia sa vplyvy na sieť a umožní komutácia prúdov v usmerňovači. Vstupné tlmivky sa robia trojfázové alebo ako trojica jednofázových tlmiviek na jadrách C.



Obr. č. 9 Umiestnenie tlmivky v meracej sústave

Filtračné tlmivky sa používajú v rezonančných striedavých obvodoch na vytváranie obvodov LC filtrujúcich jednotlivé vyššie harmonické frekvencie. Na vylúčenie určitých harmonických zložiek sa používajú sériové obvody LC, ktoré sa zapojujú paralelne na svorky striedavého napätia, ktoré je treba filtrovať. Obyčajne sa robia filtre na 5. a 7. harmonickú. Filtračné tlmivky majú zásadne železné jadro so vzduchovou medzerou [7].

2.4. Meniče ako zdroje rušenia

Základným stavebným prvkom meničov sú výkonové polovodičové súčiastky (VPS). Z princípu funkcie sú meniče i silnými zdrojmi rušenia a preto je dobré si uvedomiť vlastnosti a poznať ako toto rušenie vzniká. VPS sa podľa stupňa riadenia delíme na:

- neriadené (najčastejšie diódy)
- riadené (riadenie zopnutie súčiastky – napr. tyristory)
- plne riadené (riadený spínací a vypínací systém)

Parametre, druh VPS a typ riadenia meničov majú základný vplyv aj na úroveň generovaného rušenia meničov. Všeobecne rušenie, ktorého zdrojom je zariadenie s VPS, vzniká z príčin:

- nesínusovým odberom prúdu, ktorý vyvoláva deformáciu napájacieho napätia (nízkofrekvenčné rušenie - nf)
- riadené meniče s fázovým riadením
- prechodnými javmi pri zopnutí a vypnutí VPS (vysokofrekvenčné rušenie - vf)
- prenikanie vf zložiek riadiacich signálov, generovaných v riadiacich obvodoch zariadenia s riadenými VPS (vf rušenie)

Príčinou vzniku nf rušenia pri činnosti zariadenia s VPS je to, že prúd a napätie na záťaži sú nesínusové funkcie času a obsahujú vyššie harmonické. Vďaka nesínusovému odoberanému prúdu vznikajú na impedancii siete nesínusové zložky úbytkom napätia, ktoré deformujú krivku napájacieho napätia a prejavujú sa ako rušivé striedavé napätia superponované na základné harmonické napätie.

Hlavnou príčinou vzniku vf rušenia od zariadenia s VPS je ich fyzikálna vlastnosť, a to náhla zmena impedancie pri prechode VPS z nevodivého stavu do vodivého a naopak. Pritom v dôsledku prerozdelenia energie akumulovanej v reaktanciách celého obvodu vznikajú prechodné napätia a prúdy, ktorých kmitočtová spektra siahajú až do oblasti desiatok MHz a ktoré pôsobia ako nežiaduce vf rušenie.

Z uvedeného je zjavné, že vznik rušenia je neoddeliteľne spojený so základnými vnútornými pochodmi v meničoch, ktoré sú dané vlastnosťami VPS a typom riadenia meniča. Trend ide smerom k úplnému nahradeniu tyristorov ako polovične riadených VPS vypínateľnými súčiastkami a používaním jednej univerzálnej metódy riadenia meničov – k pulzne šírkovému riadeniu. Riadené usmerňovače s tyristormi GTO a fázovým riadením dožívajú, utlmujú sa a sú vytlačované meničmi s IGBT alebo IGCT tranzistormi a PWM (meniče s pulzne šírkovým riadením), ktoré majú malé straty, vysokú účinnosť, rýchlu odozvu pri regulácii meniča [8].

2.4.1. Vplyv neharmonického napájacieho napätia na charakteristiky asynchrónneho motora

Statický striedač predstavuje všeobecne zdroj neharmonického napätia $u(\omega t)$, ktoré možno (pre každú fázu) vyjadriť ako súčet nekonečného radu:

$$u(\omega t) = \sum_{v=1}^{\infty} u_v(\omega t) \quad (20)$$

kde $u_v(\omega t)$ je harmonická zložka s frekvenciou, ktorá sa rovná v - násobku frekvencie základnej (prvej) harmonickej zložky. Predpokladáme pritom, že jednosmerná zložka ($v = 0$) je nulová. Ak v prvom priblížení pokladáme motor za lineárny obvod, tak dostaneme pre fázový prúd analogický výraz.

Ako je známe, prúd indukčného motora pri danom napätí je úplne určený sklzom. Sklz s_v každej harmonickej zložky točivého magnetického poľa statora je daný relatívnym rozdielom jej synchronných otáčok a skutočných mechanických otáčok motora

$$s_v = \frac{vn_1 \pm n}{vn_1} \quad (21)$$

kde n_1 - synchronné otáčky rotora pre základnú harmonickú,
 n - mechanické otáčky rotora

Pre sklz v -tej harmonickej (s_v), vyjadrený pomocou sklzu prvej harmonickej (s_1), platí:

$$s_v = 1 \pm \frac{1-s_1}{v} \quad (22)$$

Záporné znamienko vo vzťahu (21) platí pre harmonické, ktorých pole sa otáča s poľom prvej harmonickej (súbežne), kladné pre protibežné harmonické. Súbežné sú harmonické radu

$v = 3k+1$, protibežné $v = 3k+2$, kde $k = 0, 1, 2$. Harmonické radu $v = 3k+3$ sú stojaté, neprispievajú k otáčavému poľu a nevytvárajú otáčavý moment.

Pokiaľ je napätie striedača osovo symetrické, nenachádzajú sa v ňom párne harmonické zložky. To je v praxi pri napájaní zo striedača dobre splnené. Zaujímajú nás teda iba nepárne harmonické poradia $v = 5, 7, 11, 13, 17$ atď.

Pri veľkej relatívnej zmene sklzu prvej harmonickej je zmena sklzu ostatných harmonických malá, ich sklz je v celom rozsahu otáčok stroja veľmi blízky sklzu nakrátko $s_v \rightarrow 1$. Možno teda povedať, že prúdy vyšších harmonických sú pri ľubovoľných otáčkach stroja prakticky prúdmi nakrátko. Na určenie celkového prúdu motora pri určitom sklze stačí teda brať do úvahy ako otáčkovu závislý len prúd základnej harmonickej, a možno napísať:

$$i(\omega t) = i_1(\omega t) + \sum_{v>1} i_v(\omega t) \quad (23)$$

kde

$$\sum_{v>1} i_v(\omega t) = \sum_{v>1} i_{vK}(\omega t) \quad (24)$$

pričom i_{vK} je prúd v -tej harmonickej v stave nakrátko (záberový prúd). Pre rotor nakrátko platí ďalej:

$$i_K(\omega t) = i_{1K}(\omega t) + \sum_{v>1} i_{vK}(\omega t) \quad (25)$$

a pre celkový prúd motora pri ľubovoľnom sklze môžeme napísať:

$$i(\omega t) = i_1(\omega t) + i_K(\omega t) - i_{1K}(\omega t) \quad (26)$$

To znamená, že prúd motora je približne daný súčtom prúdu prvej harmonickej a rozdielu celkového prúdu nakrátko a prúdu nakrátko prvej harmonickej.

Na praktické určenie prúdu motora napájaného neharmonickým napätím potrebujeme teda poznať tri zložky:

- a) $i_1(\omega t)$ je prúd prvej harmonickej, ktorý závisí od otáčok a zaťaženia stroja, možno ho určiť z kružnicového diagramu alebo z náhradnej schémy stroja pre každý sklz,
- b) $i_K(\omega t)$ je celkový neharmonický prúd motora v stave nakrátko. Dá sa určiť pre každý časový okamih z náhradnej schémy motora nakrátko, na ktorú je priložené dané neharmonické napätie,
- c) $i_{1K}(\omega t)$ je prúd nakrátko prvej harmonickej a určí sa z tej istej náhradnej schémy nakrátko so sínusovým napätím na vstupe [6].

2.4.2 Vplyv elektrických pohonov s polovodičovými meničmi na energetickú sieť

Neodmysliteľnou súčasťou moderného elektrického pohonu je výkonový polovodičový menič. Proti klasickým rotačným meničom majú polovodičové meniče množstvo výhod. Žiaľ ich použitie má aj niektoré nepriaznivé dôsledky. Pre energetickú napájaciu sieť predstavuje elektrický pohon s výkonovým polovodičovým meničom veľmi nevýhodný typ záťaže. Pokiaľ je na energetickú sieť s veľkým skratovým výkonom pripojený elektrický pohon s malým výkonom, jeho spätný vplyv na túto sieť je zanedbateľný. Elektrický pohon s polovodičovým meničom zaťažuje sieť neharmonickými prúdmi. Výrazne sa na tom podieľajú najmä komutačné deje. Polovodičový menič umožňuje aj rýchle zmeny v odbere elektrickej energie. Fázovým riadením meniča vzniká fázový posun medzi základnou harmonickou zložkou prúdu odoberaného zo siete a jej napätím. Uvedené záťažové vlastnosti elektrických pohonov s polovodičovými meničmi sa prejavujú týmito spätnými vplyvmi na napájaciu sieť:

- deformáciou harmonického napätia siete,
- zhoršovaním účinníka siete,
- šírením vysokofrekvenčných porúch pozdĺž energetickej siete.

Sieťové napätie môžeme idealizovať a považovať za harmonické. Prúd, ktorý odoberá frekvenčný menič zo siete, bude však neharmonický. Okrem základnej harmonickej obsahuje množstvo vyšších harmonických zložiek. Činný výkon umožňujú prenášať iba

súhlasné harmonické zložky napätia a prúdu. Napätie je monoharmonické, preto prenos užitočnej energie cez menič umožňuje iba základná harmonická prúdu. Vyššie harmonické zložky prúdu nevytvárajú činný výkon (nemajú priradenú vyššiu harmonickú napätia), a preto sa nezúčastňuje na prenose užitočnej energie [2].

3. Meranie AM napájaného z frekvenčného meniča pri rôznych zapojeniach a modulačných frekvenciách

Ďalšou časťou diplomovej práce bolo zmerať účinnosť AM pri menovitom zaťažení, frekvenciách privádzaného napätia 40, 50 a 60 Hz a modulačných frekvenciách meniča 2, 8 a 16 kHz v rôznom usporiadaní s použitím odrušovacích prvkov. Pri použití všetkých možností riadenia by bolo diplomová práca veľmi obsiahla, preto som zvolila len jednu z možností a to vektorové riadenie s použitím snímača otáčok, všetky merania boli robené len v stave so záťažou. Tento spôsob riadenia som použila aj kvôli tomu, že som potrebovala zistiť účinnosť a na jej vypočítanie bol potrebný moment, ktorý pri skalárnom riadení nedá snímať.

AM bol uvedený do chodu a bol zaťažovaný jednosmerným motorom, ktorý fungoval ako záťaž. Snímané veličiny ako moment, výstupný prúd OutputAmps, momentotvorná I_{sq} a tokotvorná I_{sd} zložka prúdu, napätie U , frekvencia f , otáčky a požadovaná hodnota otáčok n/f boli prenášané z frekvenčného meniča pomocou zbernice RS 232 do počítača a spracované pomocou softwaru Simovis. Vstupné elektrické veličiny boli odčítané z 3-fázového analyzátora výkonu PA 4000 AC POWER ANALYSER.

3.1. Popis meracieho pracoviska.

Meranie bolo robené v laboratóriu EL2 katedry Elektrotechniky. Pracovisko obsahuje dva motory, ktoré sú spojené spoločným hriadeľom. Jeden motor je asynchrónny s kotvou nakrátko s výkonom 1,5kW a otáčkami 925 min^{-1} , ktorý je riadený frekvenčným meničom Simovert a druhý motor je jednosmerný s cudzím budením s výkonom o rozsahu 0,020kW – 1,92 kW a otáčkami o rozsahu 10 – 960 min^{-1} , riadený meničom Simoreg. Asynchrónny motor je vybavený inkrementálnym snímačom otáčok typu 1XP8001 – 1 / 1024. Meniče v oboch regulovalých strojoch sú vybavené prúdovou a otáčkovou spätnou väzbou.

Ďalšou časťou pracoviska je softwarové vybavenie meničov a osobný počítač. Nastavenie parametrov pohonu a vizuálny chod motoru je možné robiť pomocou softwaru Simovis, ktorým je nainštalovaný v osobnom počítači. Riadiace a regulačné funkcie jednotlivých meničov sú určené softwarovým vybavením, uloženým v pamäti riadiacej jednotky meniča. Softwarové vybavenie meniča sa skladá z funkčných blokov, ktoré sú autonómne s jasne definovanými vstupmi, výstupmi a funkciami. Užívateľ môže nielen nastavovať parametre jednotlivých blokov, ale aj tieto bloky medzi sebou ľubovoľne prepojiť. Pre programovanie meničov sa používa programovacia technika BICO, ktorá umožňuje vytvoriť regulačnú štruktúru pohonu, podľa požiadaviek na vlastnosti navrhovaného pohonu. [11]

V software Simovis je rádovo 1000 parametrov, z ktorého niektoré sú pevne definované a niektoré si môže užívateľ nastaviť podľa požiadaviek a zapojenia meranej sústavy. Parametrom P 101 až P 109 sa nastavili štítkové údaje motoru. Na určenie typu riadenia ako skalárne alebo vektorové slúži parameter P 100. Parametrom P 113 bola nastavená hodnota menovitého momentu na 15 Nm. Parametrom P 130 sa nastavilo zapojenie so snímačom otáčok. Hodnoty modulačnej frekvencie (2, 8, 16 kHz) boli nastavené v parametre P 340. Frekvencia privádzaného napätia sa nastavovala cez percentuálnu hodnotu otáčok (80, 100, 120 %) čo odpovedá frekvencii privádzaného napätia (40, 50, 60 Hz).

Synchronné otáčky motora sú $n_s = 1000$ ot/min, tieto otáčky boli pomocou vzťahu (11) prepočítané na uhlovú rýchlosť aby sa mohol spočítať výstupný výkon P zo vzťahu (10) a následne η s použitím vzťahu (18).

Vo vnútri meniča sú hodnoty okamžitých otáčok reprezentované v dvojkovej sústave s presnosťou na 15-bitov a tejto hodnote 2^{15} odpovedá 16384, čo odpovedá 100%. Z meniča sa získali hodnoty prevedené z dvojkovej sústavy na desatinné číslo a to bolo treba vziať k menovitým hodnotám a preto sú hodnoty v %.

Fotky laboratória



Obr. č. 10 Meracie pracovisko



Obr. č. 11 asynchrónny motor spolu s jednosmerným na jednom hriadeli

Merané zariadenia

Všetky merané zariadenia sú výrobky firmy Siemens.

Jednosmerný motor s cudzím buđením:

	Typ: 1665104 – GEB20 – 6W1 - Z
	Chladenie: cudzie
Kotva:	Napätie: $U_n = 132 - 420 \text{ V}$ (420V)
	Prúd: $I_n = 7 \text{ A}$
	Výkon: $P_n = 0,020 \text{ kW} - 1,92 \text{ kW}$
	Otáčky: $n = 10 - 960 \text{ ot/min}$
Budenie:	Napätie: $U = 220 \text{ V}$
	Prúd $I = 1,25 \text{ A}$

Asynchrónny motor s kotvou nakrátko:

Typ: 1LA71066AA10
Chladenie: vlastné
Menovité napätie: $U_n = 230/400 \text{ V } \Delta/Y$
Menovitý prúd: $I_n = 6,9/3,9 \text{ A } \Delta/Y$
Výkon: $P_n = 1,5 \text{ kW}$
Účinník: $\cos\varphi = 0,75$
Menovité otáčky: $n = 925 \text{ ot/min}$
Menovitý moment $M_n = 15 \text{ N.m}$
Frekvencia: $f = 50 \text{ Hz}$

Frekvenčný menič Simovert:

Typ: 6SE7016 – 0EA61
Vstup: $U_n = 380 - 480 \text{ V}$
$I_n = 6,7 \text{ A}$
$P_n = 4,1 - 50 \text{ kW}$
$f = 50 - 60 \text{ Hz}$
Modulačná frekvencia $f = 1,5 - 16 \text{ kHz}$
Účinnosť $\eta \geq 0,97$
Výstup: $U_n = 0 \text{ V}$
$I_n = 6,1 \text{ A}$

Menič Simoreg:

Typ: 6RA2413 – 6DV62 - 0

Vstup: $U_n = 400 \text{ V}$ $I_n = 15 \text{ A}$, $f = 45 - 65 \text{ Hz}$

$P = 6,3 \text{ kW}$

Výstup: $U_n = 420 \text{ V}$ $I_n = 13 \text{ A}$

Vstupný LC filter:

Typ: 6SE7021 – 0ES87 – 0FB1

$U_n = 38 - 480 \text{ V}$

$I_n = 12 \text{ A}$ $f = 50 - 60 \text{ Hz}$

Tlmivka:

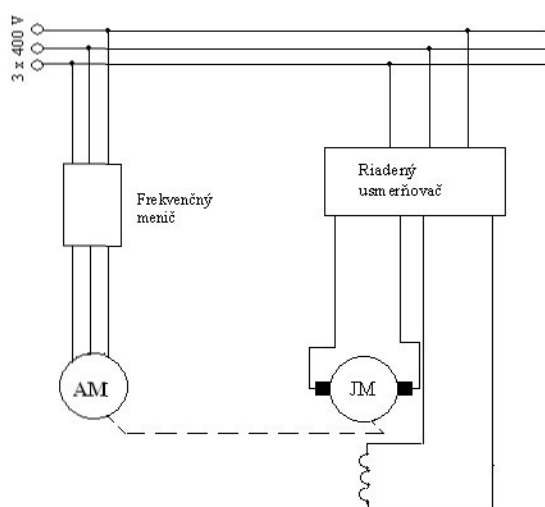
Typ: 4EP3200 – 1US

$\Delta U = 400 \text{ V}$ $\max U = 690 \text{ V}$

$I_n = 3,3 \text{ A}$ $L = 2,24 \text{ mH}$

3.2. Menič frekvencie – asynchrónny motor

AM už nebol napájaný priamo z 3 – fázovej siete ale z meniča frekvencie Simovert a bol zaťažovaný jednosmerným motorom pomocou meniča Simoreg. Veličiny boli snímané pomocou software Simovis a zmerané pri rôznych kombináciách frekvencií privádzaného napätia s modulačnými frekvenciami meniča. Schematické zapojenie tohto zapojenia je na obr. č.12.



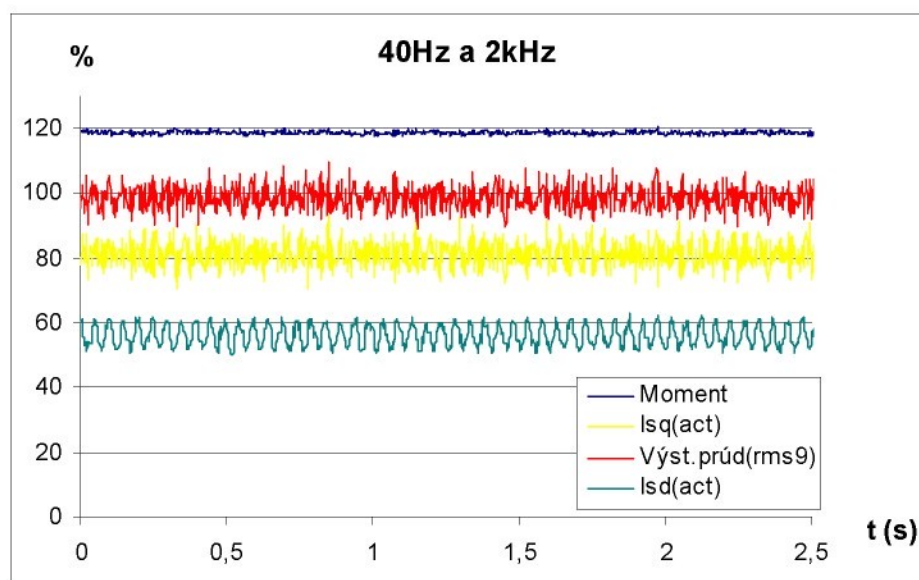
Obr. č. 12 Schematické zapojenie frekvenčný menič - AM

Tab. č. 5 Vstupné hodnoty pre rôzne kombinácie frekvencií privádzaného napätia a modulačnej frekvencie

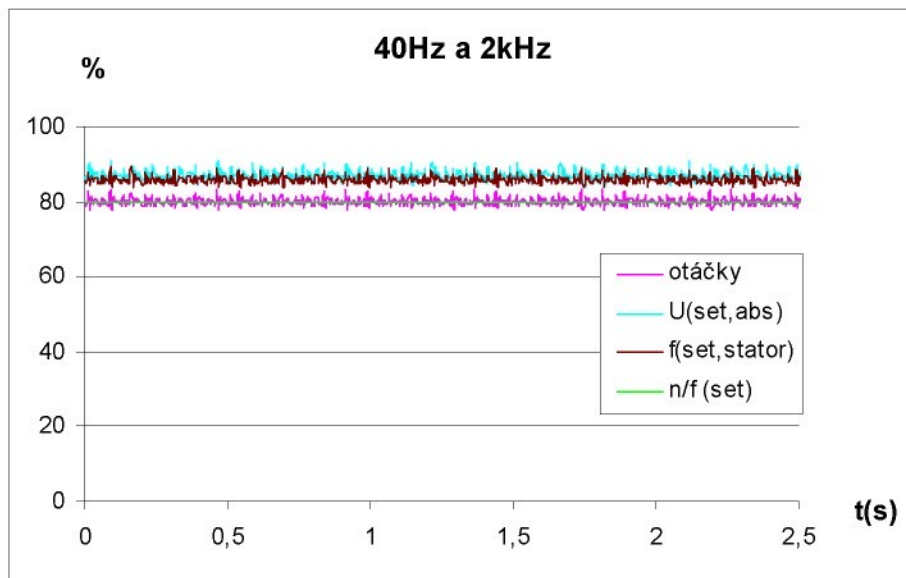
mod.frekv. frekvencia	2kHz			8kHz			16kHz		
	40Hz	50Hz	60Hz	40Hz	50Hz	60Hz	40Hz	50Hz	60Hz
U (V)	387	387,6	386,8	387,6	386,4	386,4	390,2	389,2	388,3
I (A)	4,378	5,123	6,156	4,396	5,117	6,125	4,404	5,128	6,187
P (W)	1673,3	2004	2435	1671,4	1985,2	2435	1670,5	2009	2442
Q (VAR)	841,6	901,9	1172,8	804,1	897,3	1095,7	814	987,1	1104,9
Pc (VA)	1868	2216	2706	1859,3	2222	2678	1836,6	2231	2685
cos φ	0,898	0,911	0,909	0,899	0,906	0,914	0,882	0,904	0,91
účinnosť η (%)	89,14	91,16	83,76	86,68	88,96	80,93	83,1	84,91	77,57

Frekvencia privádzaného napätia 40 Hz s kombináciami 2, 8 a 16 kHz

Modulačná frekvencia: 2 kHz

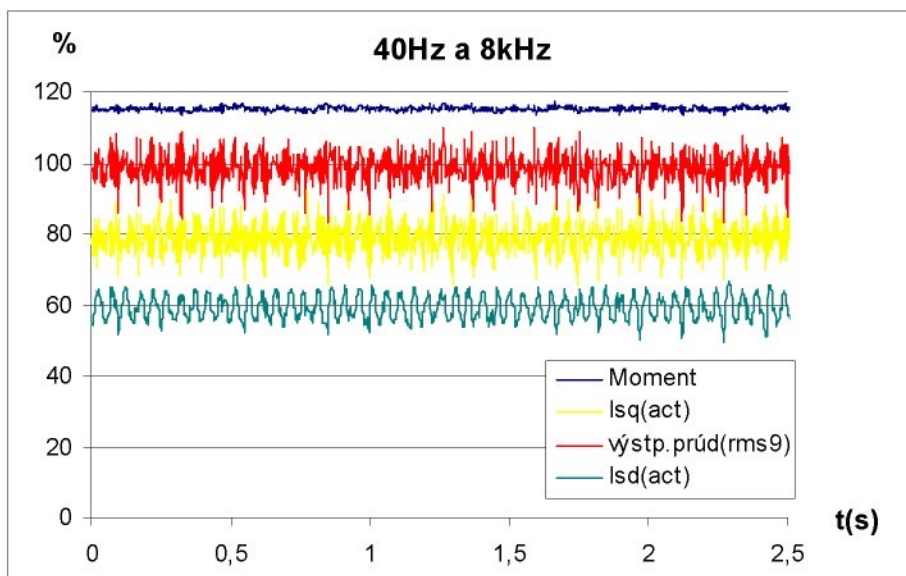


Graf č. 14 Menič frekvencie – asynchronný motor

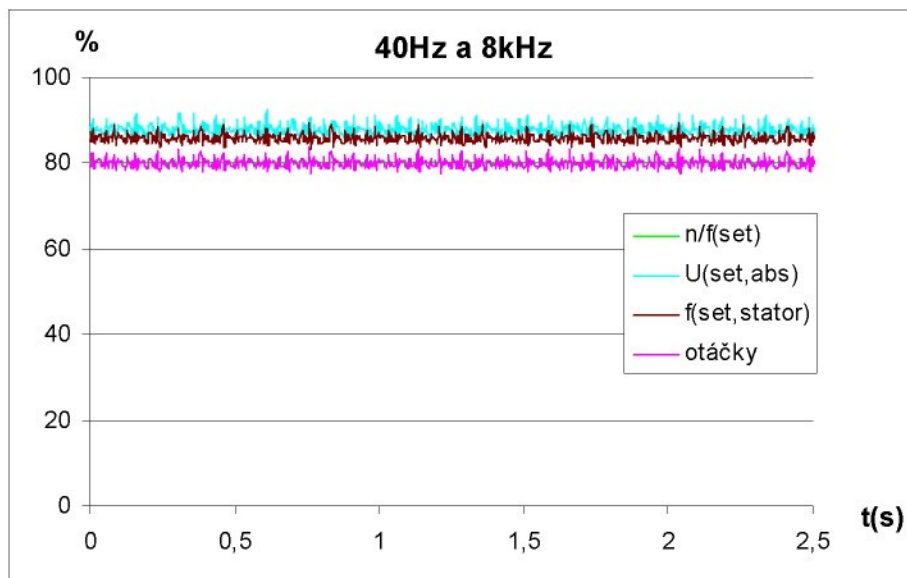


Graf č. 15 Menič frekvencie – asynchronný motor

Modulačná frekvencia: 8 kHz

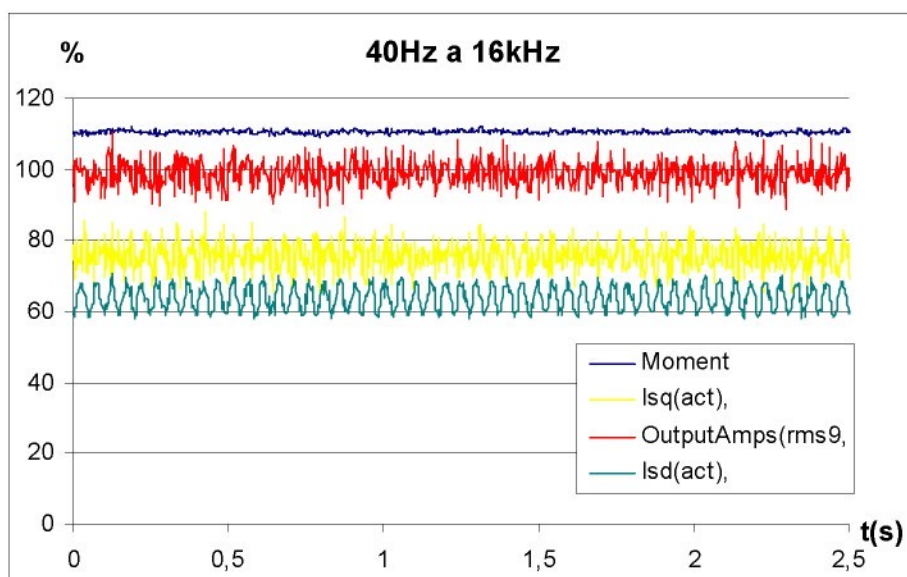


Graf č. 16 Menič frekvencie – asynchronný motor

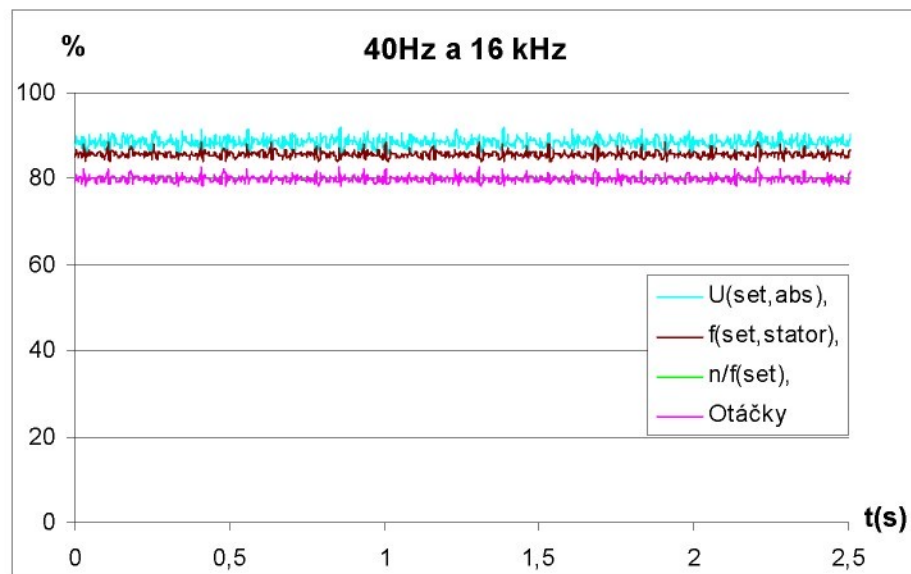


Graf č. 17 Menič frekvencie – asynchronný motor

Modulačná frekvencia: 16 kHz



Graf č. 18 Menič frekvencie – asynchronný motor

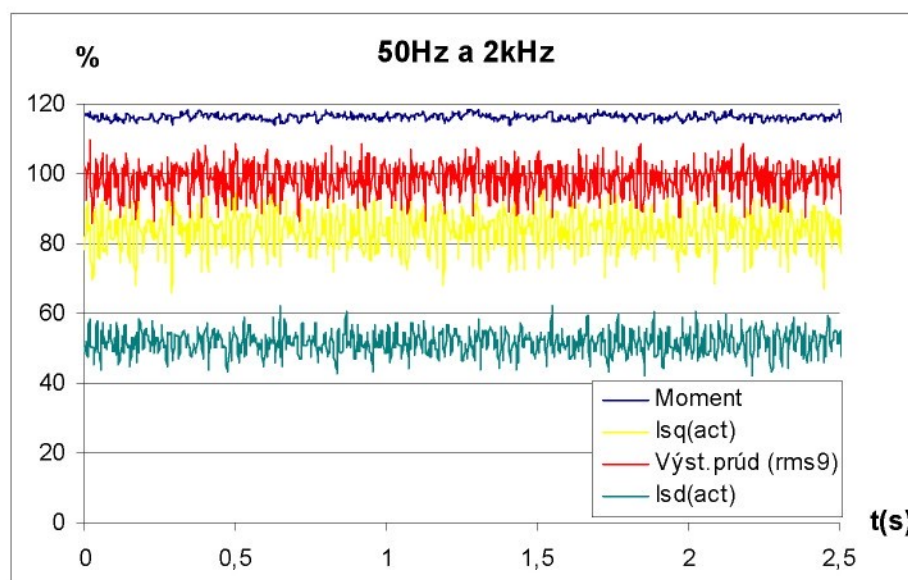


Graf č. 19 Menič frekvencie – asynchrónny motor

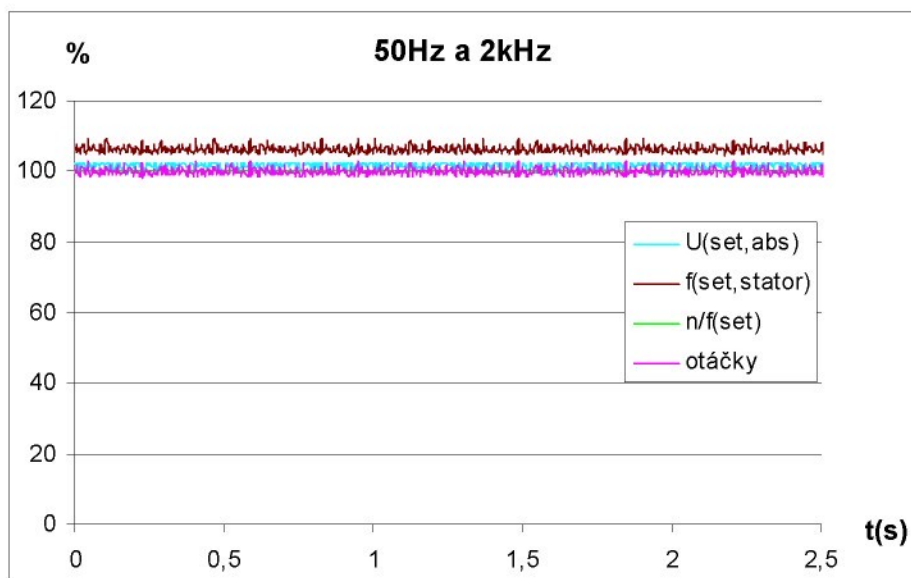
Z grafov č. 14 až 19 je vidieť, ako pri konštantnom napájacom napätí, ktoré sa zvyšovaním modulačnej frekvencie zvyšuje, rovnakých otáčkach (80%), rovnakom menovitom prúde a pri rovnakej hodnote požadovaných otáčok n/f pre všetky merania s modul. frekvenciou 2kHz, 8kHz, 16kHz sa znižuje moment a to: pre 2kHz je to 119%, 8 kHz odpovedá hodnota 115% a pre 16 kHz je to 110% menovitého momentu. Hodnoty tokotvornej zložky prúdu I_{sd} sa so zvyšovaním modulačnej frekvencie zvyšujú, naopak hodnoty momentotvornej zložky sa znižujú.

Frekvencia privádzaného napätia 50 Hz s kombináciami 2, 8 a 16 kHz

Modulačná frekvencia: 2 kHz

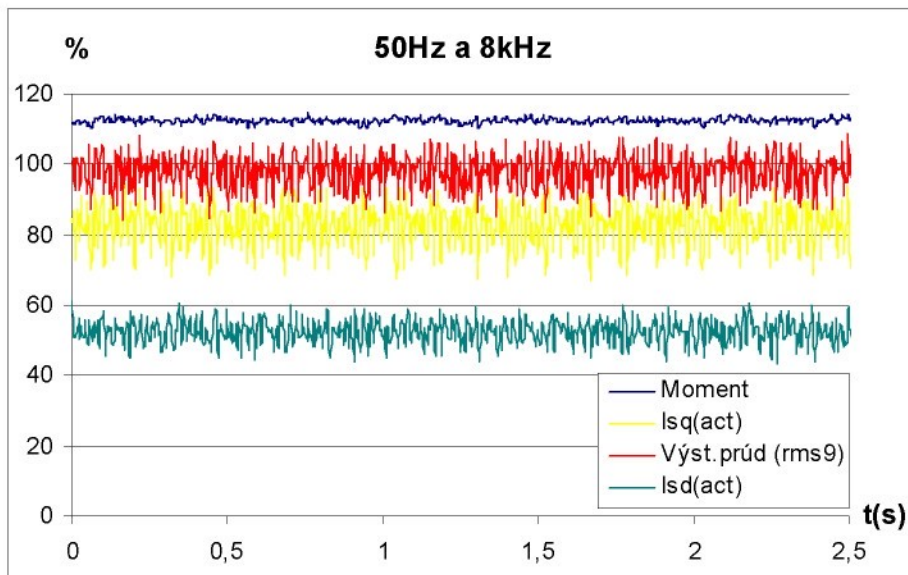


Graf č. 20 Menič frekvencie – asynchrónny motor

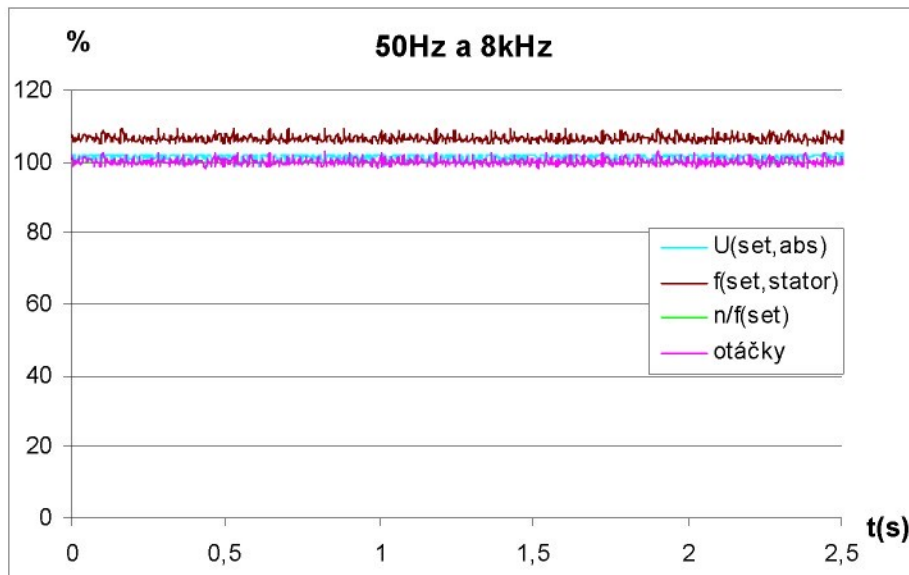


Graf č. 21 Menič frekvencie – asynchronný motor

Modulačná frekvencia: 8 kHz

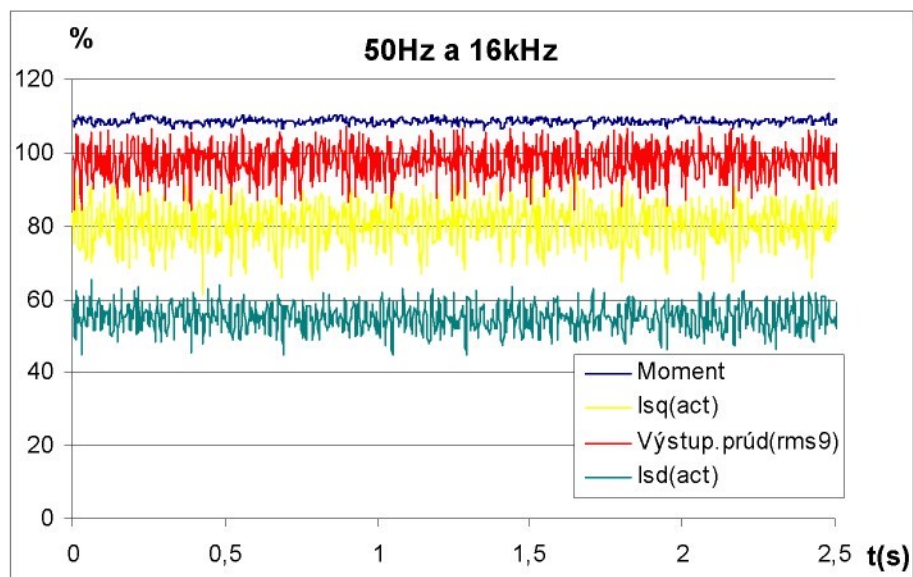


Graf č. 22 Menič frekvencie – asynchronný motor

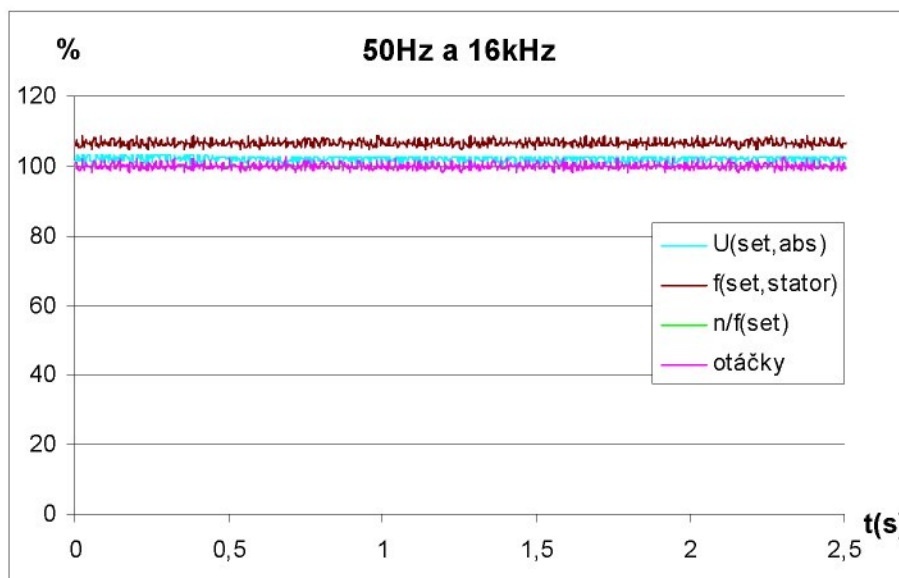


Graf č. 23 Menič frekvencie – asynchronný motor

Modulačná frekvencia: 16 kHz



Graf č. 24 Menič frekvencie – asynchronný motor

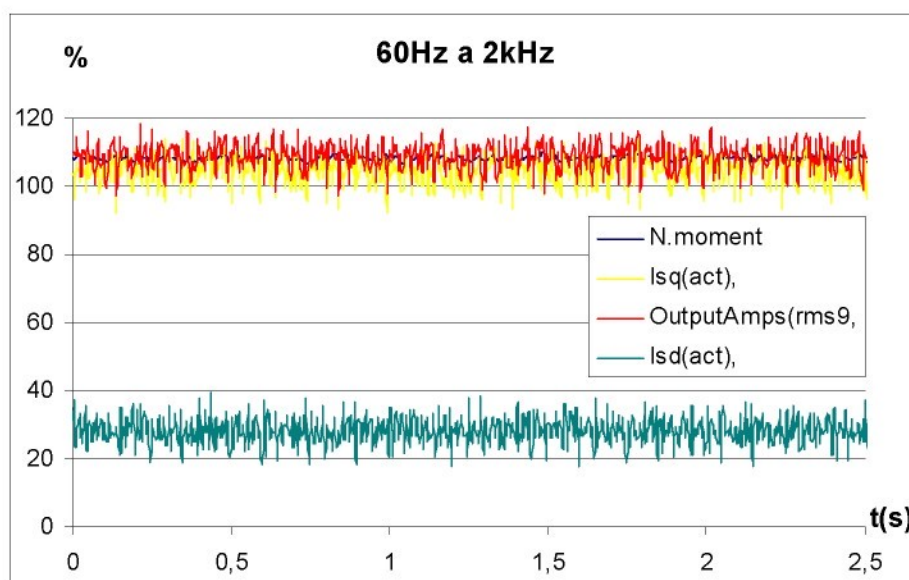


Graf č. 25 Menič frekvencie – asynchrónny motor

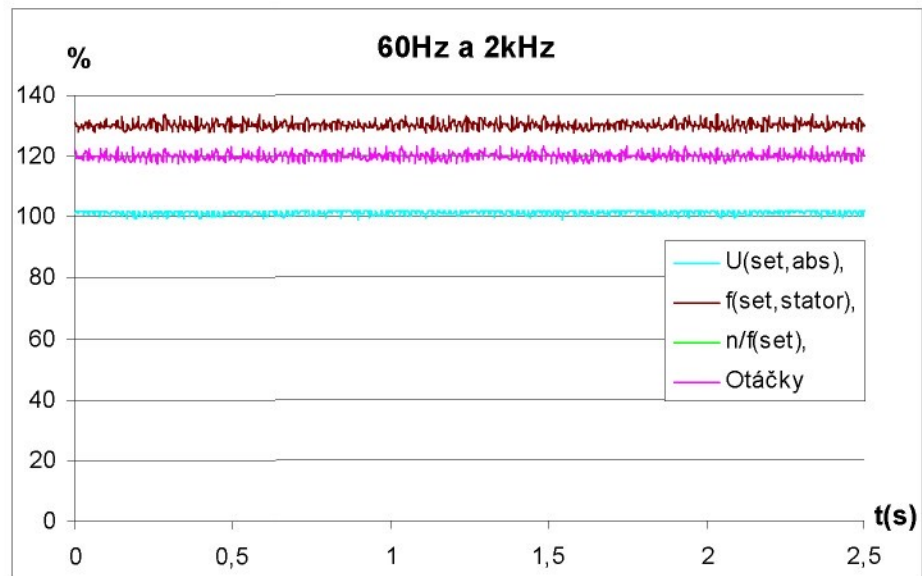
Z grafov č. 20 až 25 je vidieť, že hodnota napájacieho napätia je opäť konštantná a dosahuje 100% menovitého napätia, otáčky odpovedajú hodnote 100 % menovitých otáčok, hodnote 109 % odpovedá frekvencia f . Moment so vzrastajúcou modulačnou frekvenciou klesá. Pri modulačnej frekvencii 2 kHz odpovedá 116%, pre 8 kHz je to 113% a pri 16 kHz je to 109% menovitého momentu. Pre prúdy platí to isté ako pri 40 Hz.

Frekvencia privádzaného napätia 60 Hz s kombináciami 2, 8 a 16 kHz

Modulačná frekvencia: 2 kHz

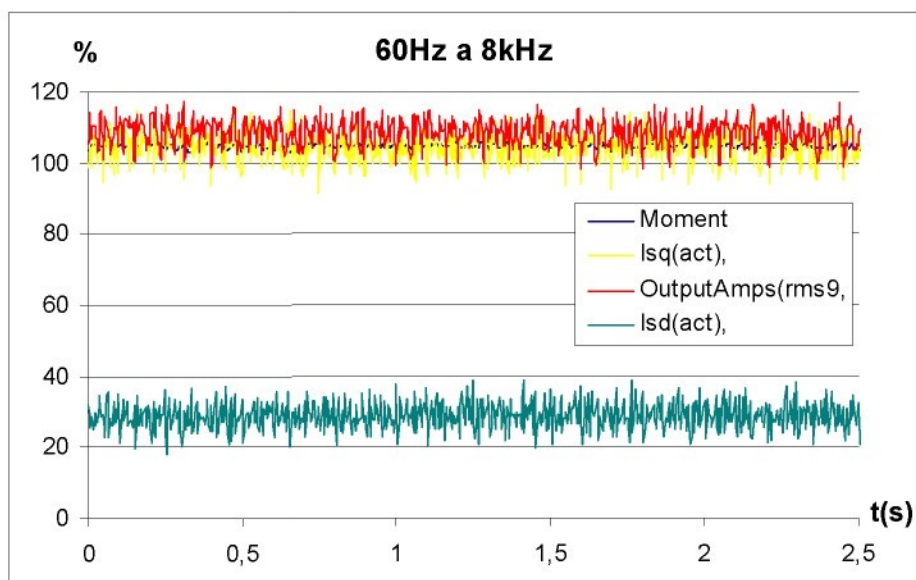


Graf č. 26 Menič frekvencie – asynchrónny motor

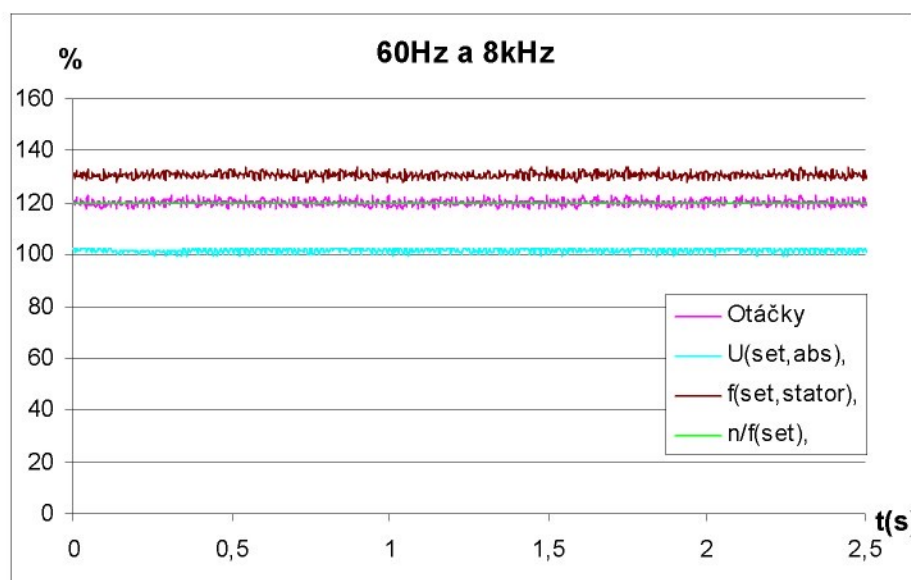


Graf č. 27 Menič frekvencie – asynchrónny motor

Modulačná frekvencia: 8 kHz

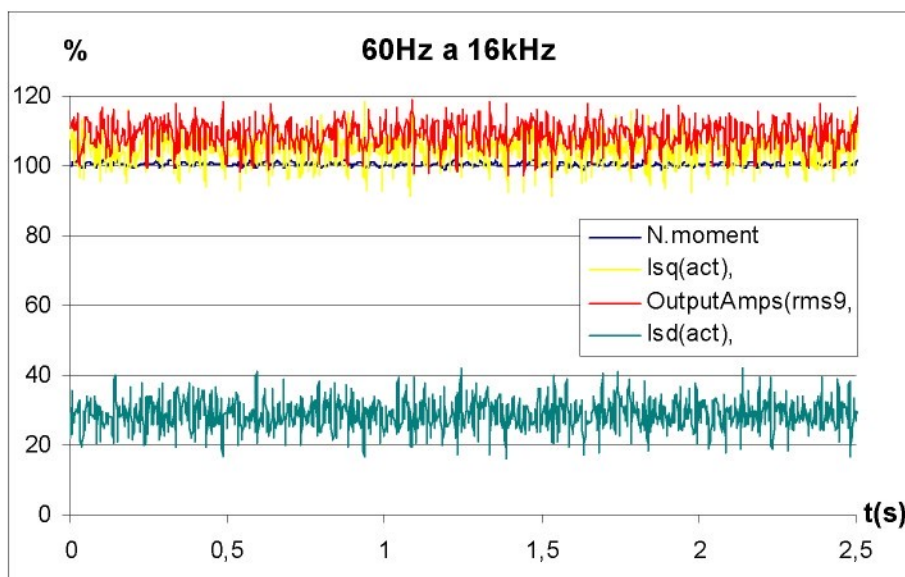


Graf č. 28 Menič frekvencie – asynchrónny motor

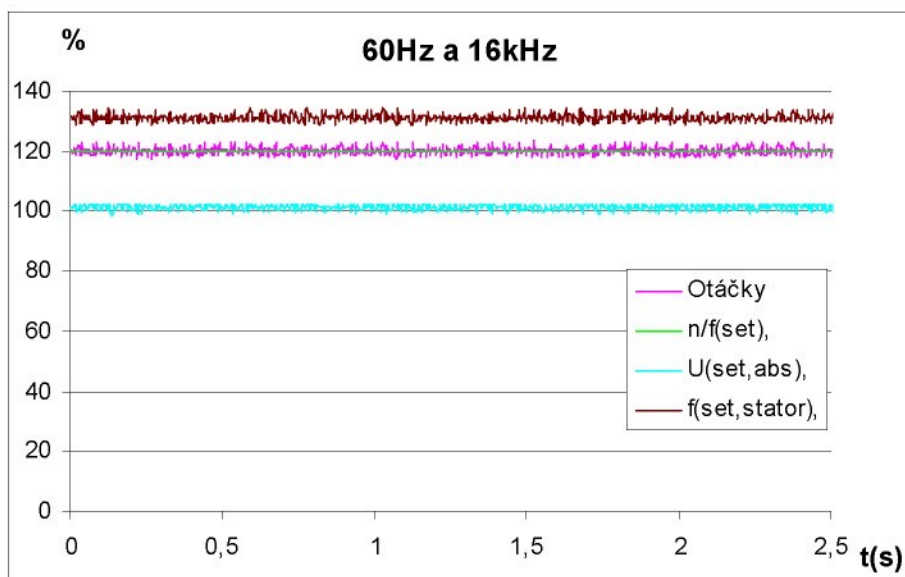


Graf č. 29 Menič frekvencie – asynchronný motor

Modulačná frekvencia: 16 kHz



Graf č. 30 Menič frekvencie – asynchronný motor



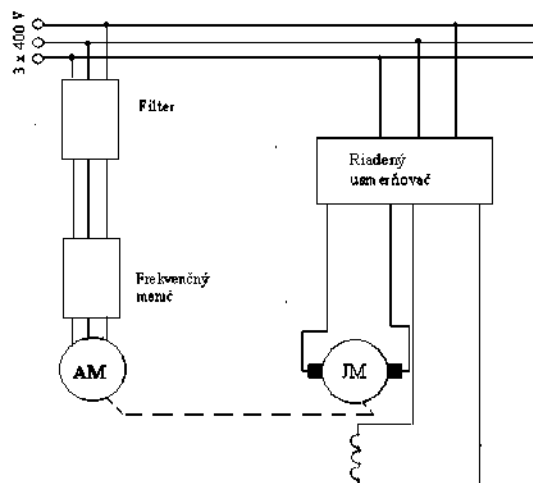
Graf č. 31 Menič frekvencie – asynchrónny motor

Z grafov č. 26 až 31 je vidieť, že hodnota napájacieho napätia je konštantná a dosahuje 100%, otáčky odpovedajú hodnote 120% menovitých otáčok, a frekvencii odpovedá hodnota 130 % privádzanej frekvencie. Moment so vzrastajúcou modulačnou frekvenciou klesá. Pri modulačnej frekvencii 2 kHz odpovedá 108 %, pre 8 kHz je to 105 % a pri 16 kHz je to 100 % menovitého momentu.

Pri privádzanej frekvencii 40 Hz s rastúcou modulačnou frekvenciou pre toto zapojenie klesá moment a tým aj výkon. Pre 50 Hz platí to isté ako pre predchádzajúci prípad s frekvenciou 40Hz, ale pokles momentu je s rastúcou modulačnou frekvenciou ešte väčší. Pri privádzanej frekvencii 60 Hz je vzhľadom na väčšie hodnoty OutputAmps a menšie hodnoty momentu v grafoch, moment aj výkon nižší ako v predchádzajúcich prípadoch.

3.3. Vstupný filter - Menič frekvencie - asynchrónny motor

Postup merania bol rovnaký ako v predchádzajúcom zapojení, ale do obvodu bol ešte pridaný vstupný filter a meranie sa zopakovalo. Snímali sa veličiny ako: výstupný prúd Output Amps, momentotvorná I_{sq} a tokotvorná I_{sd} zložka prúdu, napätie U , frekvencia f , otáčky, moment, pomer n/f . Schematické zapojenie je na obr. č. 13.



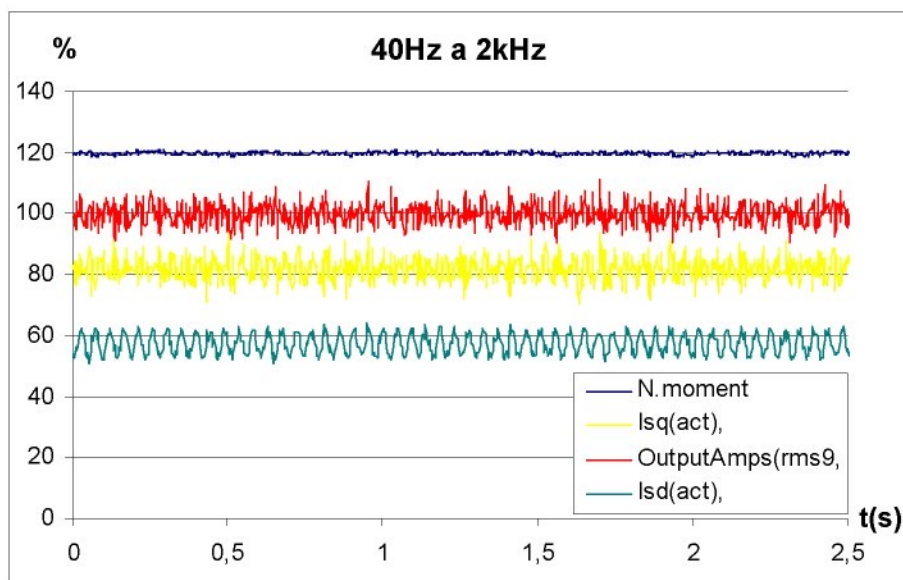
Obr. č. 13 Schematické zapojenie Vstupný filter - menič frekvencie - AM

Tab. č. 6 Vstupné hodnoty pre rôzne kombinácie frekvencií privádzaného napätia a modulačnej frekvencie

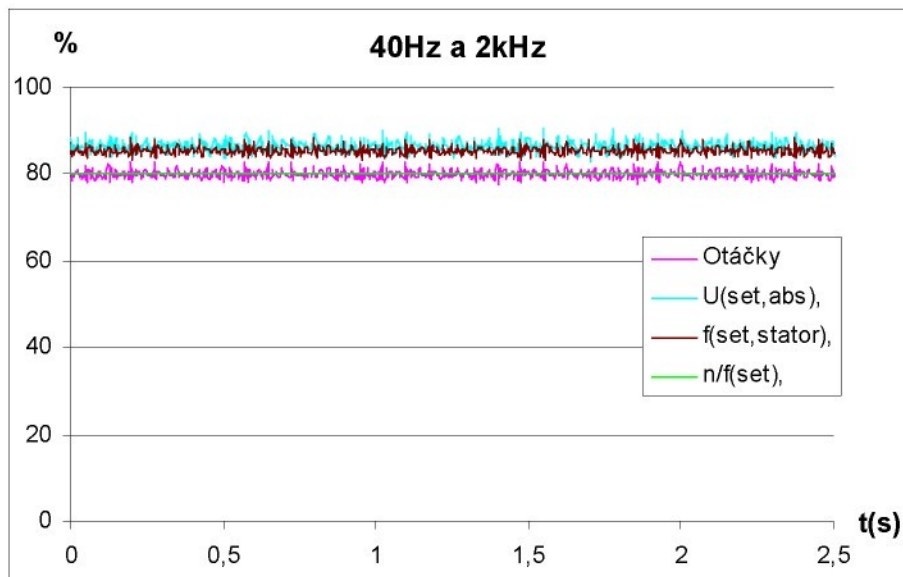
mod.frek.	2kHz			8kHz			16kHz		
f (Hz)	40Hz	50Hz	60Hz	40Hz	50Hz	60Hz	40Hz	50Hz	60Hz
U (V)	385,6	386,3	385	385,7	386	386	383,7	384	383,8
I (A)	4,325	5,102	6,107	4,396	5,274	6,159	4,453	5,207	6,134
P (W)	1670,9	1987	2429	1676,4	2021	2468	1679,3	1997,8	2447
Q (VAR)	798,6	2812	3255	2134	2811	1156,8	2419	2856	3275
Pc (VA)	2908	3496	1366	2945	2221	4101	1842,7	3479	4093
cos φ	0,9	0,577	0,602	0,566	0,583	0,905	0,572	0,572	0,594
účinnosť η (%)	90,01	92,81	84,56	87,32	88,56	80,55	83,15	85,7	77,68

Frekvencia privádzaného napätia 40 Hz s kombináciami 2, 8 a 16 kHz

Modulačná frekvencia: 2 kHz

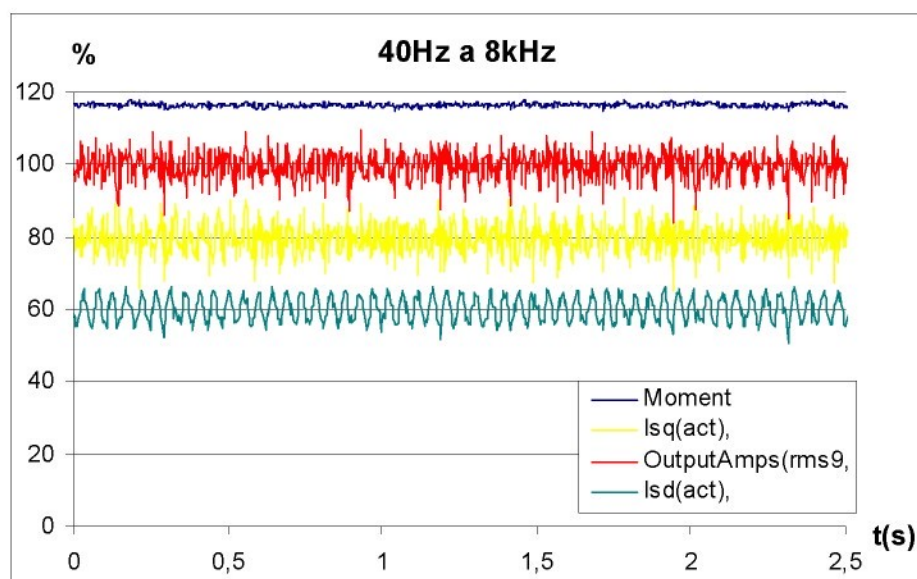


Graf č. 32 Vstupný filter - menič frekvencie – asynchrónny motor

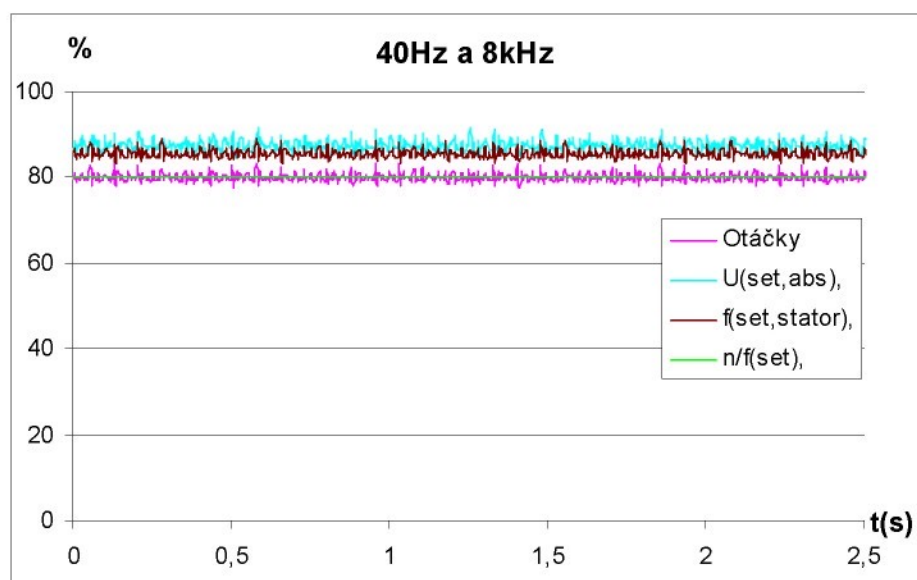


Graf č. 33 Vstupný filter - menič frekvencie – asynchrónny motor

Modulačná frekvencia: 8 kHz

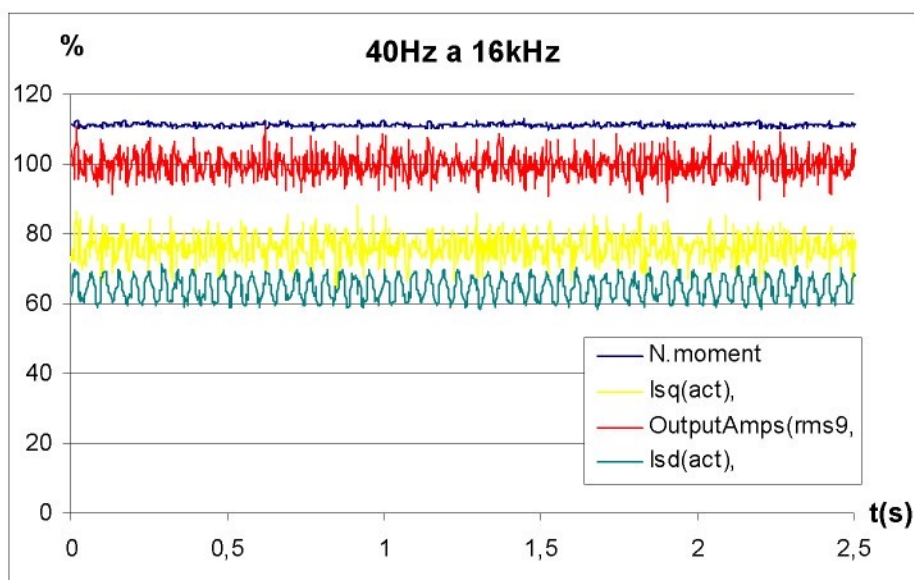


Graf č. 34 Vstupný filter - menič frekvencie – asynchrónny motor

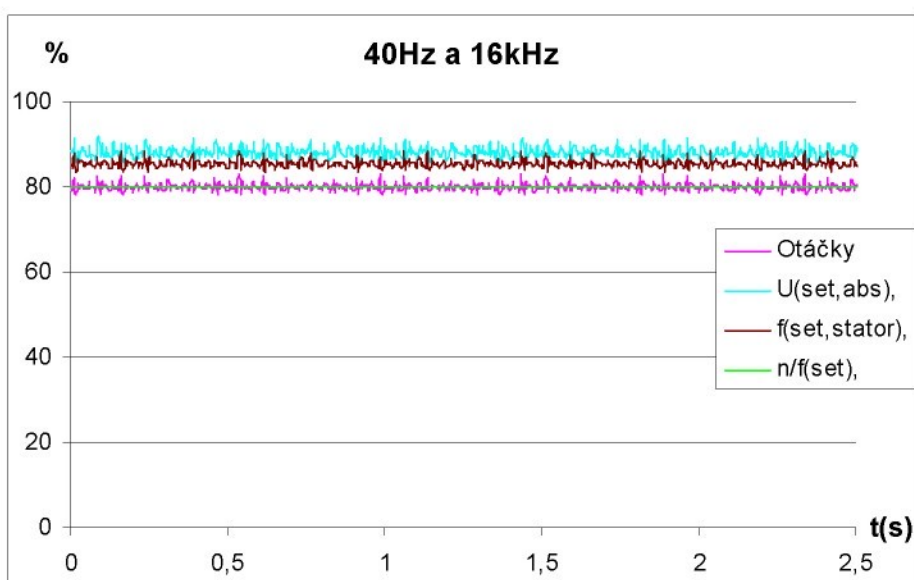


Graf č. 35 Vstupný filter - menič frekvencie – asynchrónny motor

Modulačná frekvencia 16 kHz



Graf č. 36 Vstupný filter - menič frekvencie – asynchronný motor



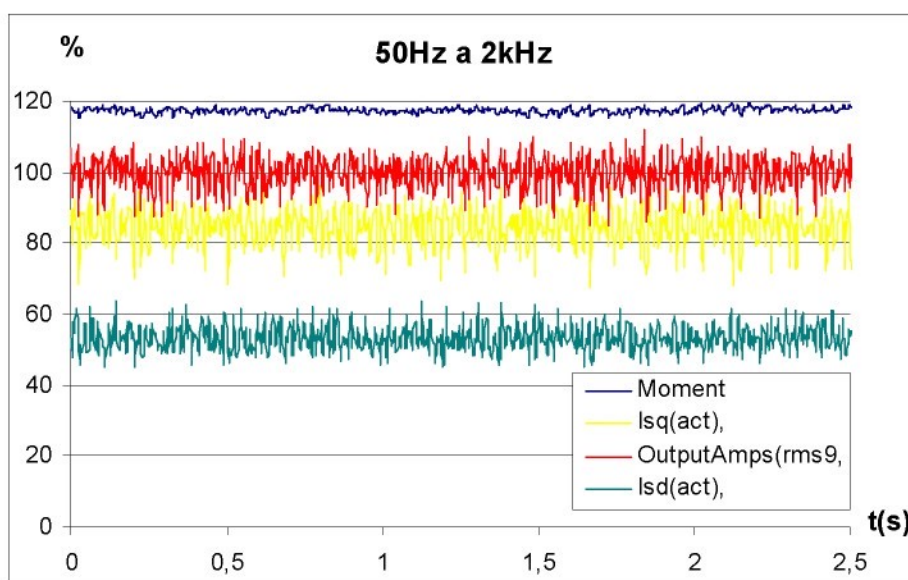
Graf č. 37 Vstupný filter - menič frekvencie – asynchronný motor

Z grafov č. 32 až 37 vidieť, že pri konštantných zobrazovaných hodnotách ako napájacie napätie U , ktoré ale zvyšovaním modulačnej frekvencie rastie, u modulačnej frekvencii 16 kHz je najvyššie a odpovedá hodnote 88 % menovitého napätia, ďalej pri otáčkach (80%), rovnakom menovitom prúde a požadovaných otáčkach n/f dochádza s rastúcou modulačnou frekvenciou k poklesu momentu M (a teda aj výkonu). Moment pri

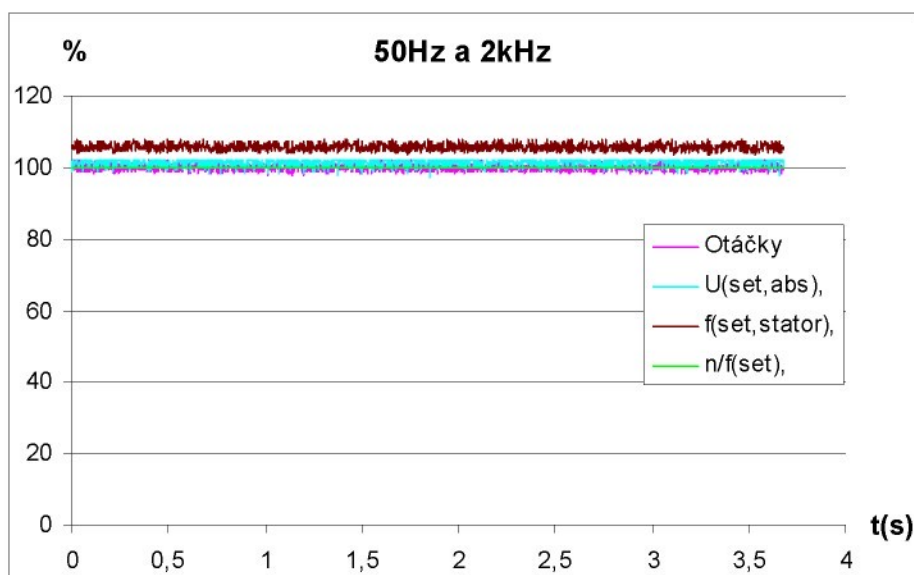
modulačnej frekvencii 2 kHz dosahuje 120% , pri 8 kHz je to 117% a s modulačnou frekvenciou 16 kHz má moment hodnotu 111% menovitého momentu. Hodnota momentotvornej zložky I_{sq} zvyšovaním modulačnej frekvencie klesá, a hodnota tokotvornej zložky I_{sd} naopak stúpa.

Frekvencia privádzaného napätia 50 Hz s kombináciami 2, 8 a 16 kHz

Modulačná frekvencia: 2 kHz

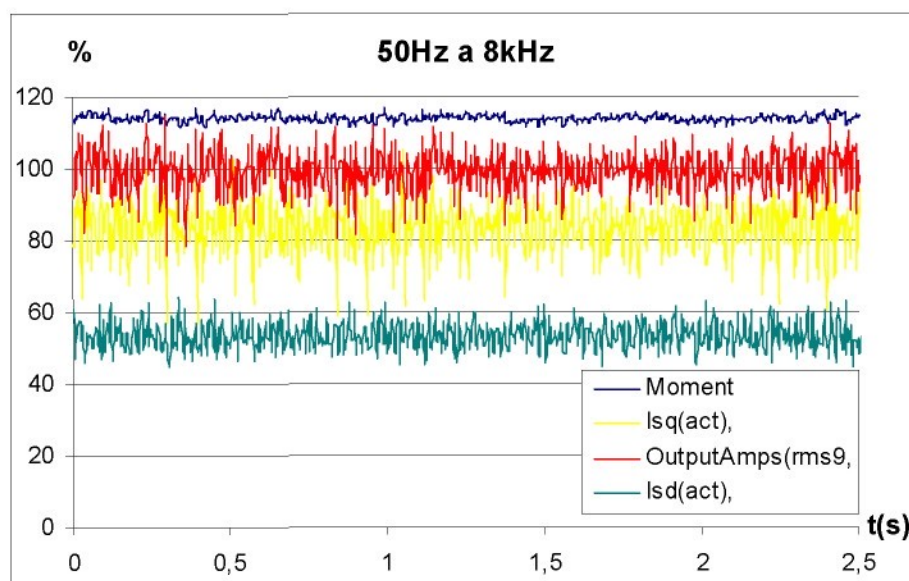


Graf č. 38 Vstupný filter - menič frekvencie – asynchrónny motor

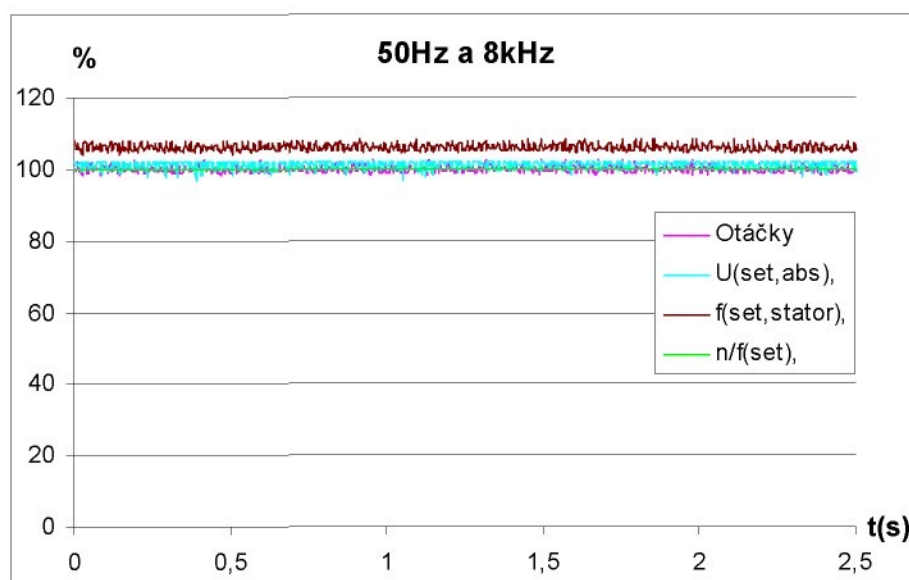


Graf č. 39 Vstupný filter - menič frekvencie – asynchrónny motor

Modulačná frekvencia: 8 kHz

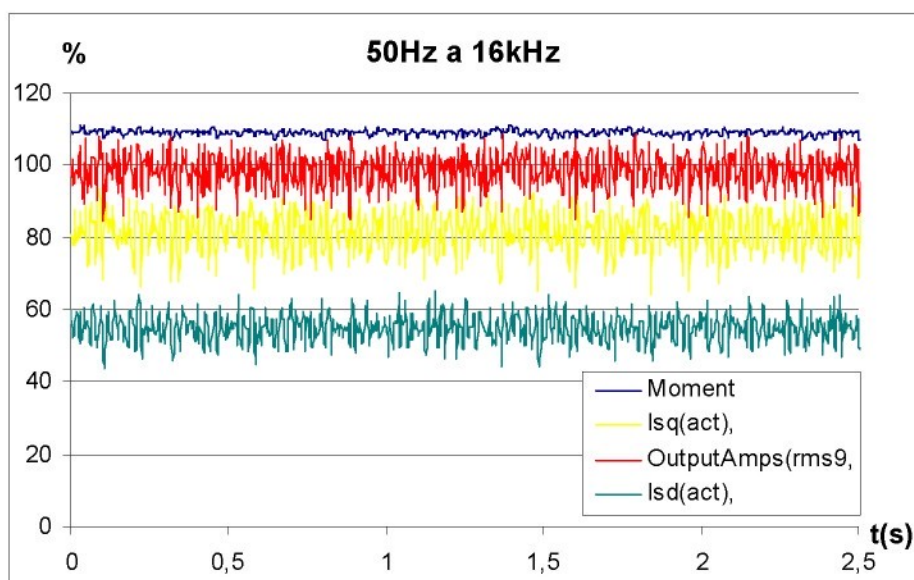


Graf č. 40 Vstupný filter - menič frekvencie – asynchrónny motor

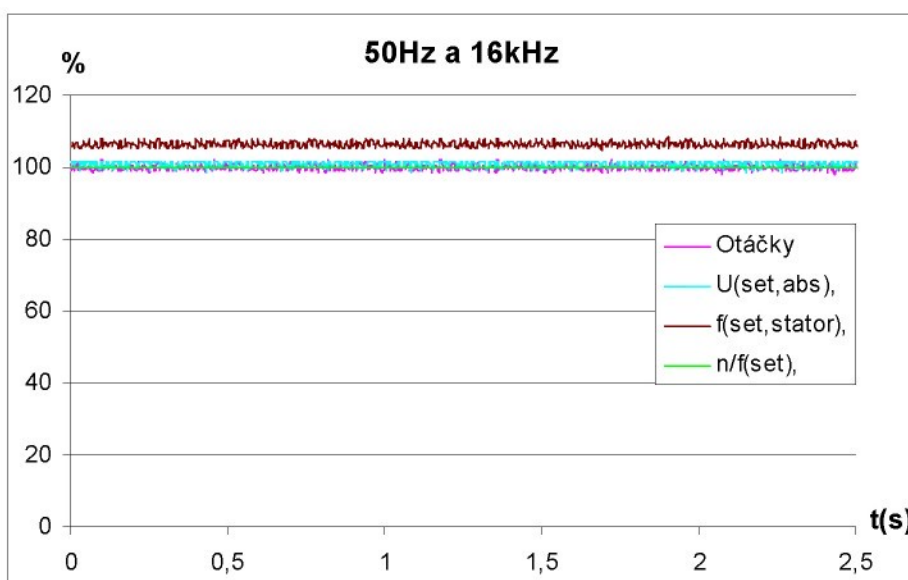


Graf č. 41 Vstupný filter - menič frekvencie – asynchrónny motor

Modulačná frekvencia: 16 kHz



Graf č. 42 Vstupný filter - menič frekvencie – asynchrónny motor



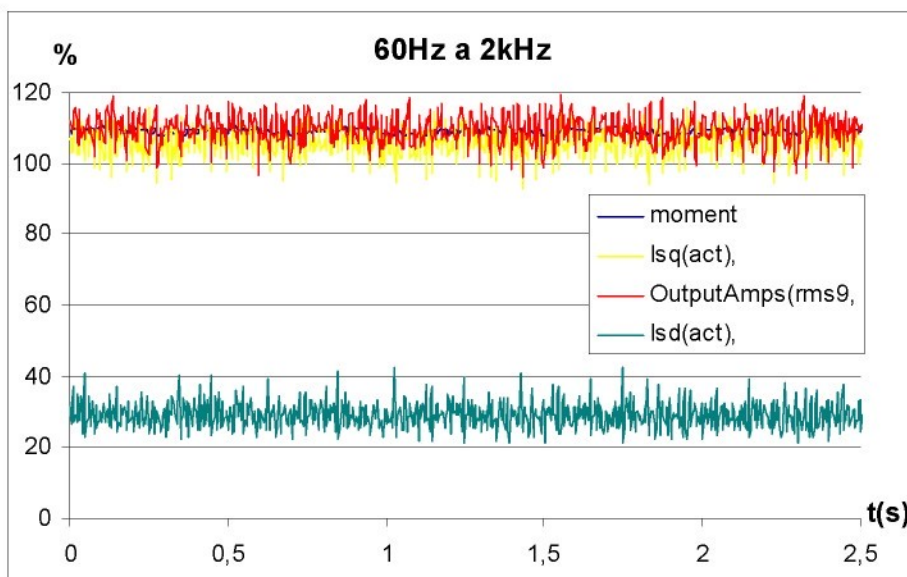
Graf č. 43 Vstupný filter - menič frekvencie – asynchrónny motor

Z grafov č.38 až 43 je vidieť, že hodnota napájacieho napätia je opäť konštantná a dosahuje 101% menovitého prúdu, otáčky odpovedajú hodnote 100% menovitých otáčok, frekvencia f odpovedá hodnote 105 % privádzanej frekvencii, a požadované otáčky n/f dosahujú 100%. Moment so vzrastajúcou modulačnou frekvenciou klesá. Pri modulačnej frekvencii 2 kHz odpovedá 118 %, pre 8 kHz je to 113 % a pri 16 kHz je to

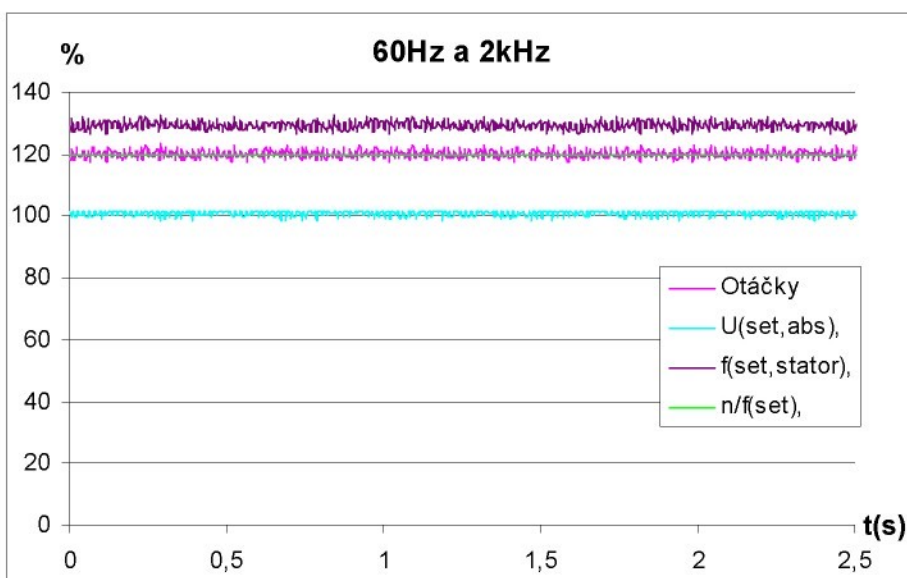
109 % menovitého momentu. Hodnoty výstupného prúdu OutputAmps sa so zvyšovaním modulačnej frekvencie nepatrne znižujú, a to isté platí aj pre momentotvornú zložku prúdu. Naopak tokotvorná zložka prúdu sa zvyšuje a najväčšiu hodnotu dosiahne pri modulačnej frekvencii 16 kHz.

Frekvencia privádzaného napätia 60 Hz s kombináciami 2, 8 a 16 kHz

Modulačná frekvencia: 2 kHz

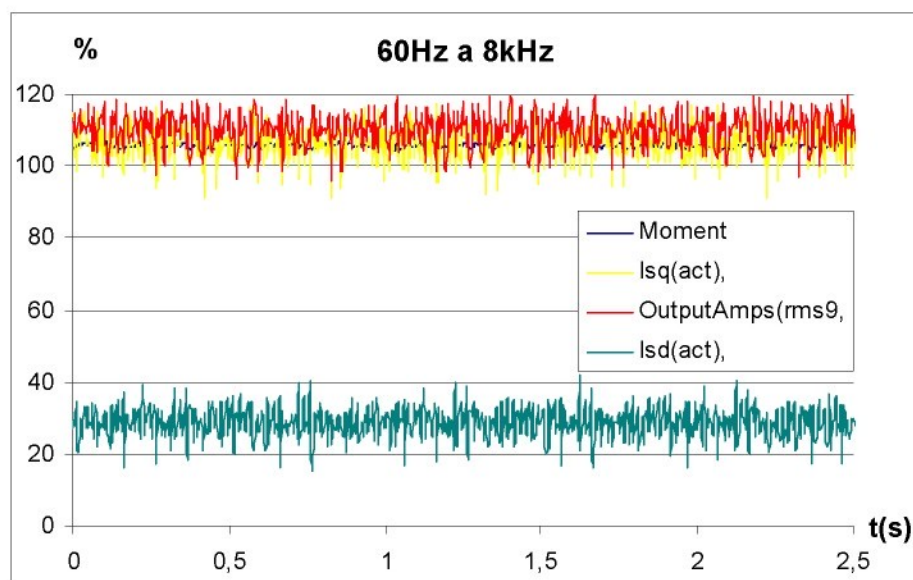


Graf č. 44 Vstupný filter - menič frekvencie – asynchrónny motor

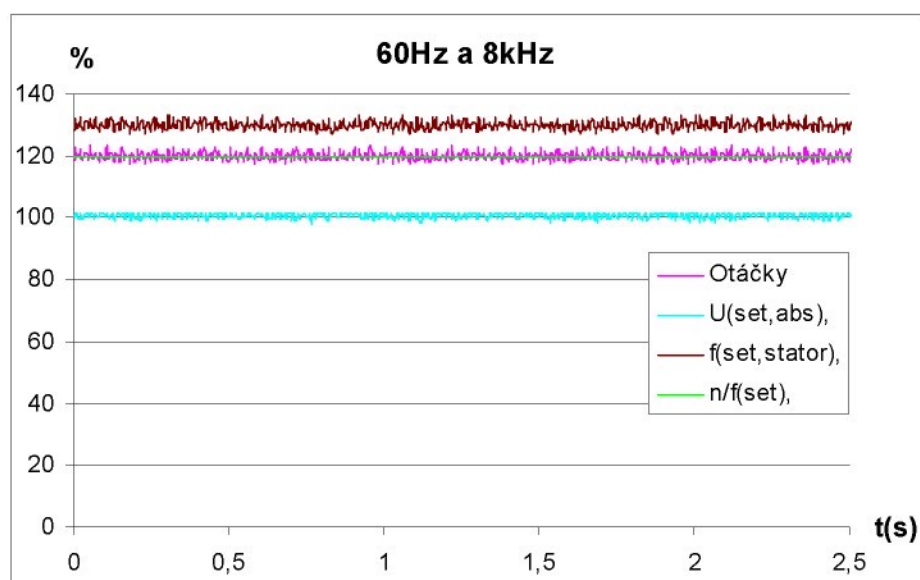


Graf č. 45 Vstupný filter - menič frekvencie – asynchrónny motor

Modulačná frekvencia: 8 kHz

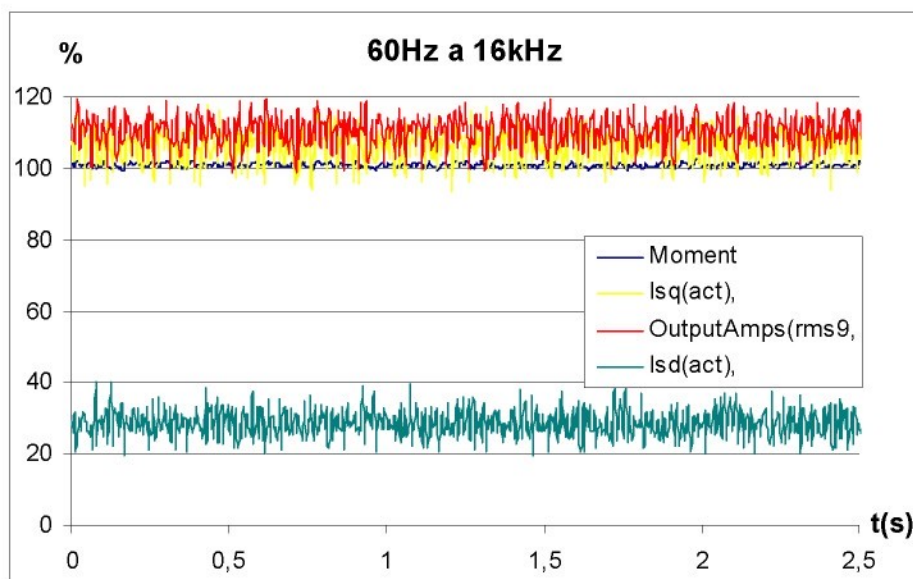


Graf č. 46 Vstupný filter - menič frekvencie – asynchrónny motor

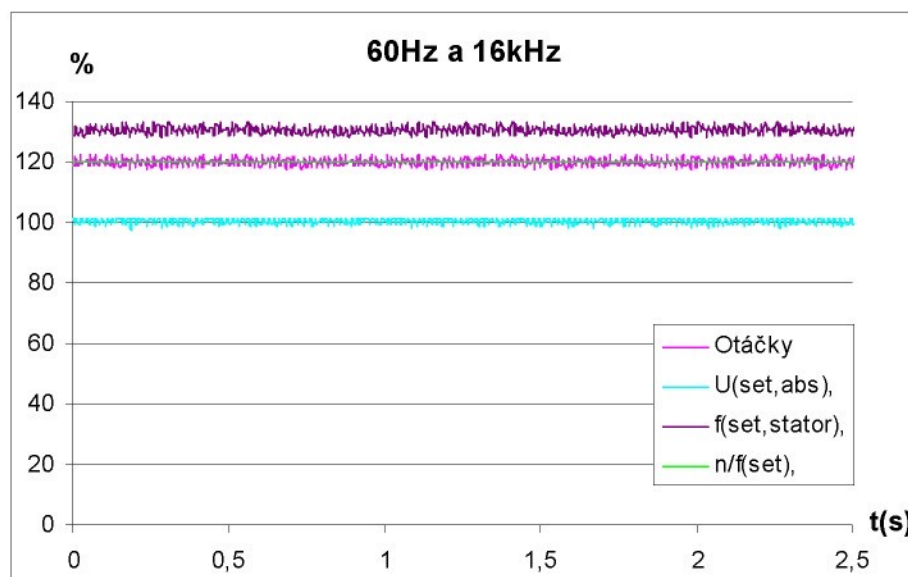


Graf č. 47 Vstupný filter - menič frekvencie – asynchrónny motor

Modulačná frekvencia: 16 kHz



Graf č. 48 Vstupný filter - menič frekvencie – asynchrónny motor



Graf č. 49 Vstupný filter - menič frekvencie – asynchrónny motor

Z grafov č. 44 až 49 je vidieť, že hodnota napájacieho napätia je konštantná a dosahuje 100%, otáčky odpovedajú hodnote 120% menovitých otáčok, a frekvencii odpovedá hodnota 130 % z privádzanej frekvencie. Moment so vzrastajúcou modulačnou frekvenciou klesá. Pri modulačnej frekvencii 2 kHz odpovedá 108%, pre 8 kHz je to 105% a pri 16 kHz je to 100% menovitého momentu. Hodnota výstupného prúdu sa

udržiava na hodnote 120% menovitého prúdu. Hodnota momentotvornej zložky prúdu I_{sq} nepatrne stúpa a naopak hodnota momentotvornej zložky prúdu klesá, ale veľmi málo.

Pri všetkých kombináciách privádzanej frekvencie s modulačnými frekvenciami platí, že so zvyšovaním modulačnej frekvencie a aj privádzanej frekvencie klesá moment. Pri 60 Hz dosahuje výstupný prúd OutputAmps najvyšších hodnôt.

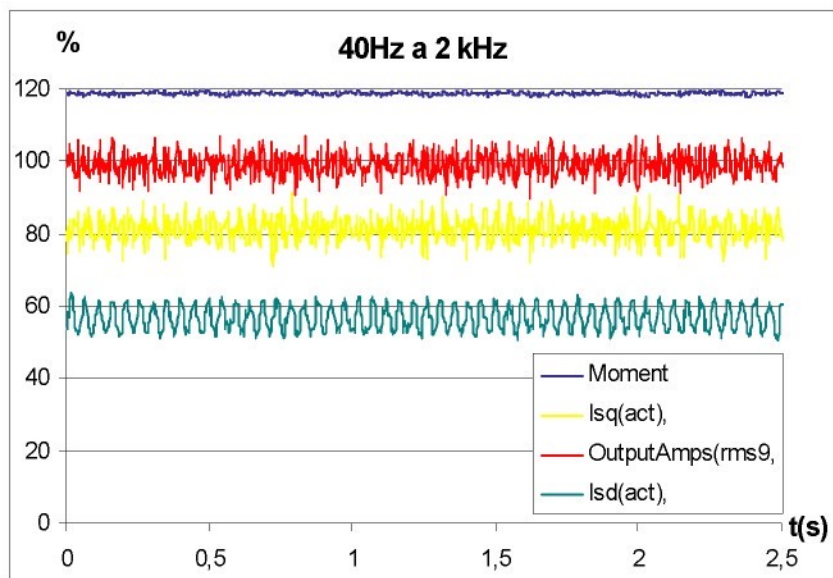
3.4. Vstupný filter - filtračná tlmivka - menič frekvencie - asynchrónny motor

Tak ako aj pri predchádzajúcich zapojeniach boli veličiny zmerané pri rôznych kombináciách frekvencií privádzaného napätia s modulačnými frekvenciami meniča. A navyše do obvodu bola zapojená filtračná tlmivka. Schematické zapojenie meranej sústavy je na obr. č. 9

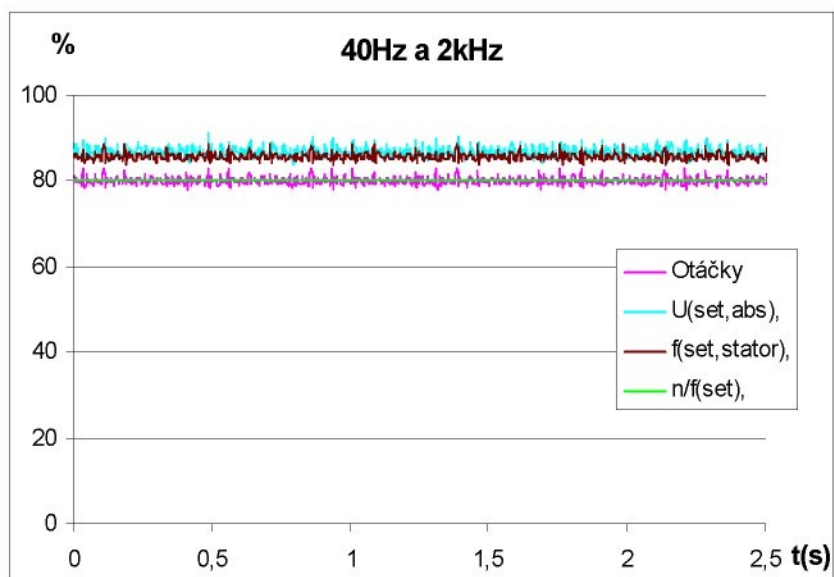
Tab. č. 7 Vstupné hodnoty pre rôzne kombinácie frekvencií privádzaného napätia a modulačnej frekvencie

mod.frek.	2kHz			8kHz			16kHz		
f (Hz)	40Hz	50Hz	60Hz	40Hz	50Hz	60Hz	40Hz	50Hz	60Hz
U (V)	387,3	386,6	387,6	388,5	387,7	387,4	387,2	387	387,2
I (A)	3,454	4,083	4,979	3,445	4,061	4,973	3,477	4,096	4,999
P (W)	1670,6	2007	2483	1685,6	2007	2487	1669,8	2005	2508
Q (VAR)	1614,9	1858,7	2214	1604,1	1852,7	2233	1634,2	1851,3	2217
Pc (VA)	2334	930	3334	2317	2733	3340	2329	2728	3389
cos φ	0,708	0,742	0,745	0,724	0,734	0,743	0,717	0,734	0,745
účinnosť η (%)	89,39	89,88	79,87	87,18	88,45	77,86	83,77	84,5	73,15

Modulačná frekvencia: 2 kHz

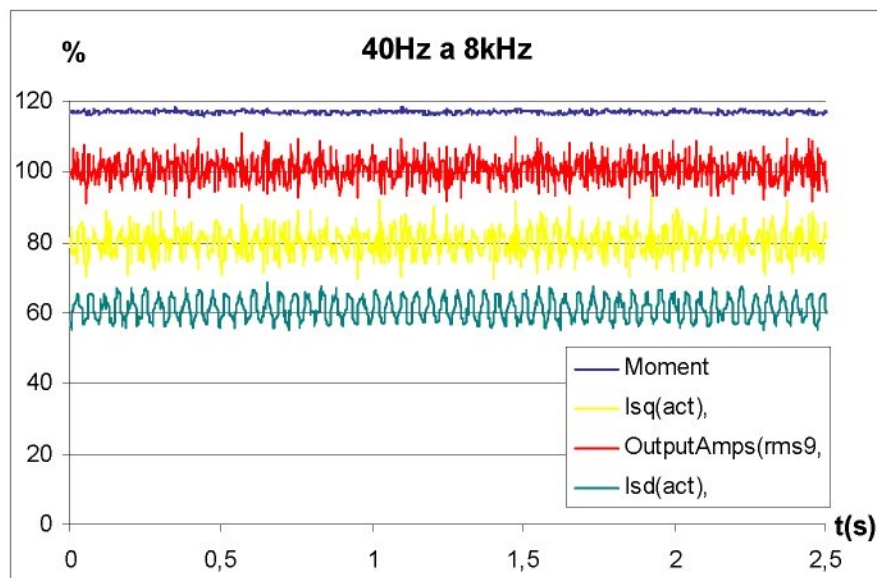


Graf č. 50 Vstupný filter – filtračná tlmivka – menič frekvencie – asynchrónny motor

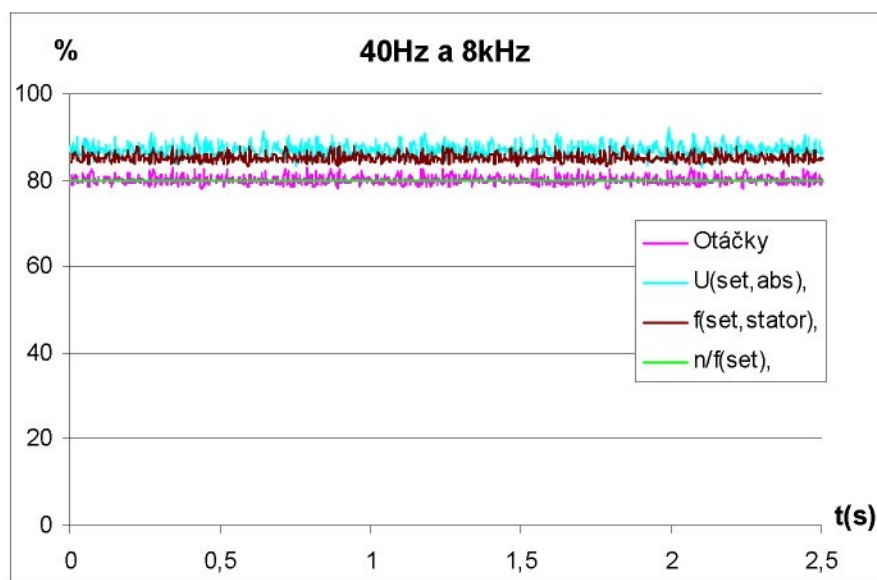


Graf č. 51 Vstupný filter – filtračná tlmivka – menič frekvencie – asynchrónny motor

Modulačná frekvencia: 8 kHz

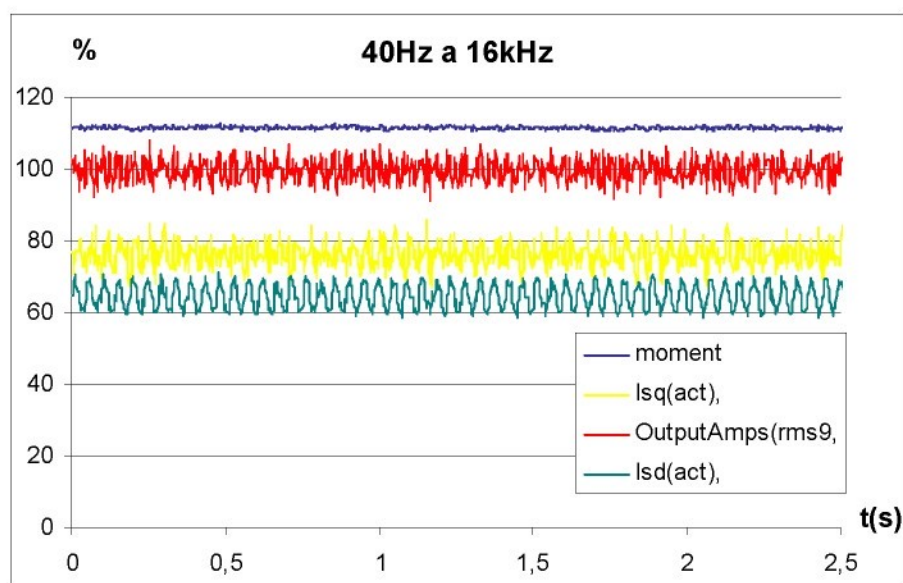


Graf č. 52 Vstupný filter – filtračná tlmivka – menič frekvencie – asynchrónny motor

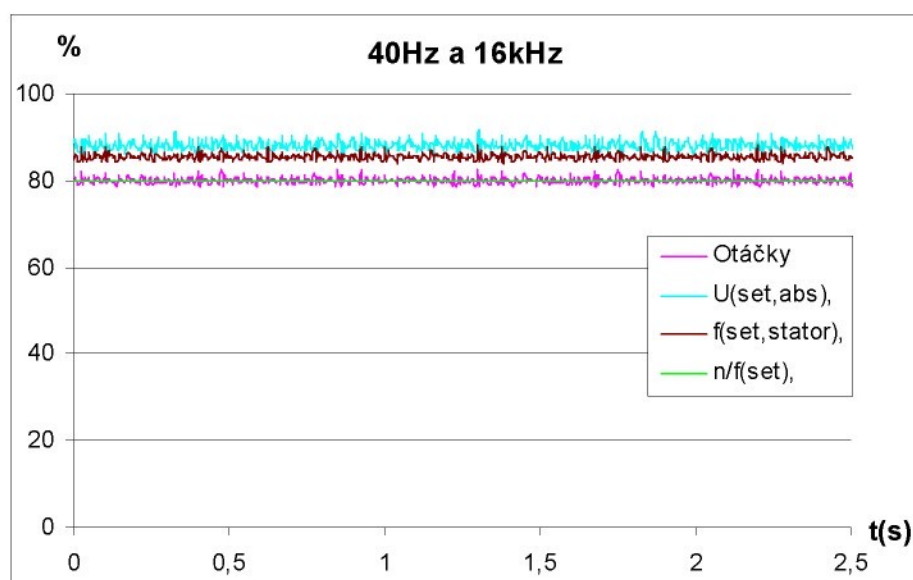


Graf č. 53 Vstupný filter – filtračná tlmivka – menič frekvencie – asynchrónny motor

Modulačná frekvencia: 16 kHz



Graf č. 54 Vstupný filter – filtračná tlmivka – menič frekvencie – asynchrónny motor



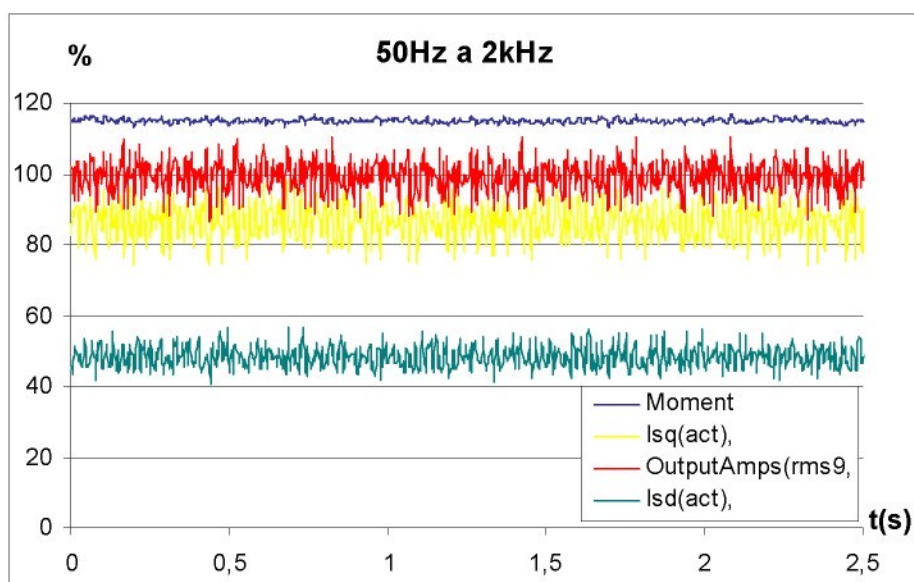
Graf č. 55 Vstupný filter – filtračná tlmivka – menič frekvencie – asynchrónny motor

Z grafov č. 50 až 55 je vidieť, že hodnota napájacieho napätia je opäť konštantná a dosahuje 87% až pri modulačnej frekvencii 16 kHz vystúpi na 88% menovitého napätia, otáčky odpovedajú hodnote 80% menovitých otáčok, a frekvencia odpovedá hodnota 85 % privádzanej frekvencii. Moment so vzrastajúcou modulačnou frekvenciou klesá. Pri modulačnej frekvencii 2 kHz odpovedá 119%, pre 8 kHz je to 117% a pri 16 kHz je to 111% menovitého momentu. Výstupný prúd si udržiava hodnotu 100 % menovitého prúdu.

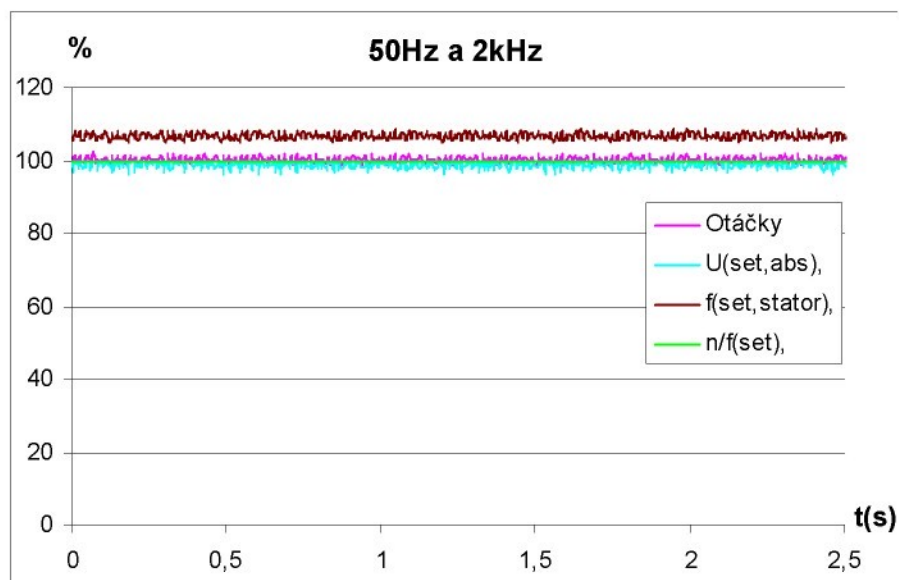
Tokotvorná zložka prúdu I_{sd} rastie s modulačnou frekvenciou, naopak momentotvorná zložka prúdu I_{sq} klesá s rastúcou modulačnou frekvenciou.

Frekvencia privádzaného napätia 50 Hz s kombináciami 2, 8 a 16 kHz

Modulačná frekvencia: 2 kHz

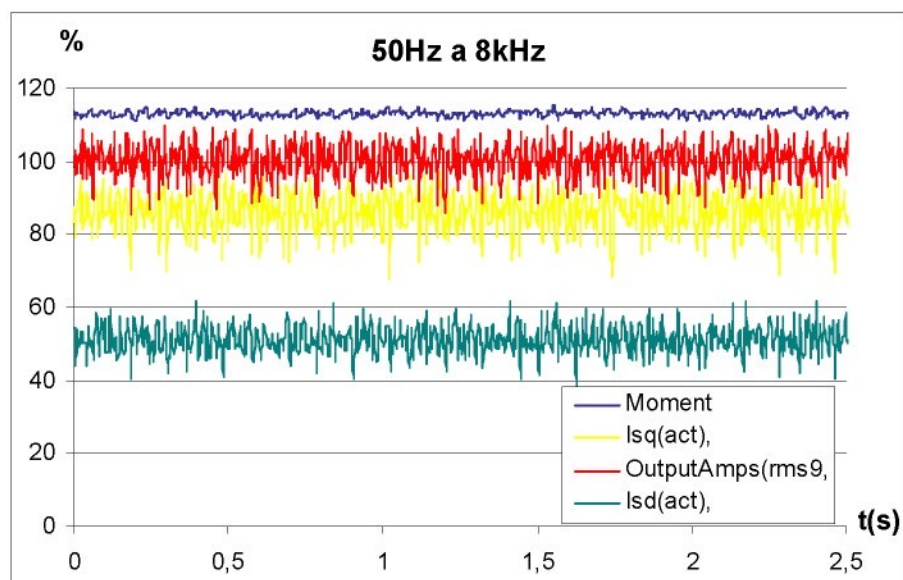


Graf č. 56 Vstupný filter – filtračná tlmivka – menič frekvencie – asynchrónny motor

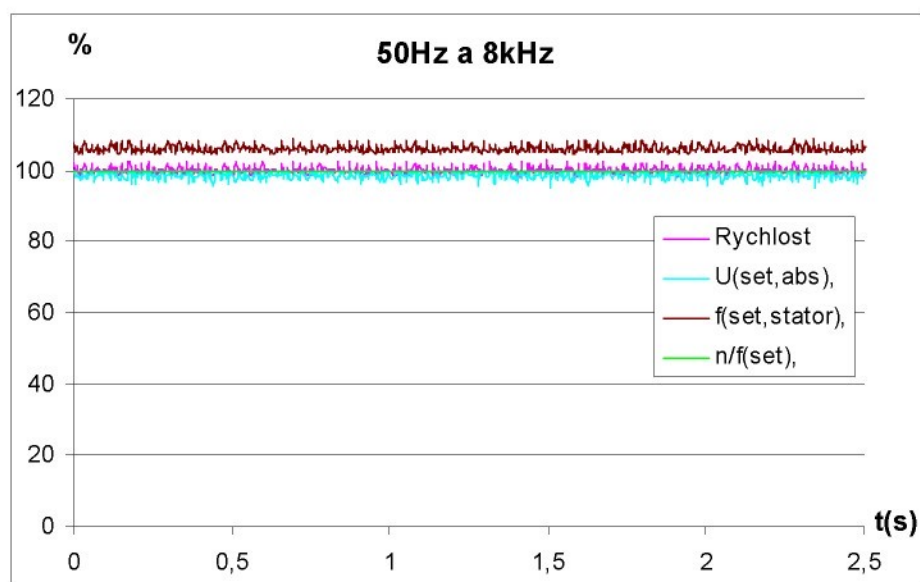


Graf č. 57 Vstupný filter – filtračná tlmivka – menič frekvencie – asynchrónny motor

Modulačná frekvencia: 8 kHz

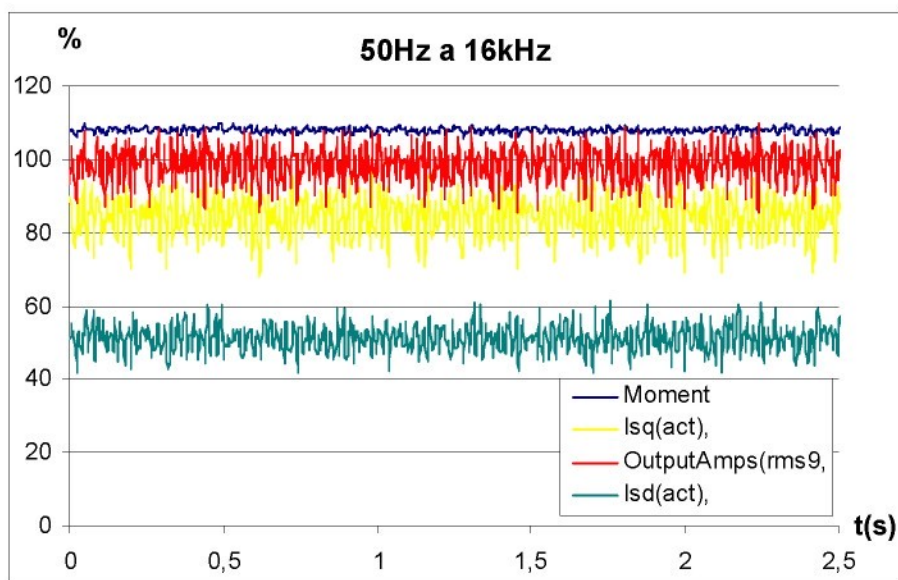


Graf č. 58 Vstupný filter – filtračná tlmivka – menič frekvencie – asynchrónny motor

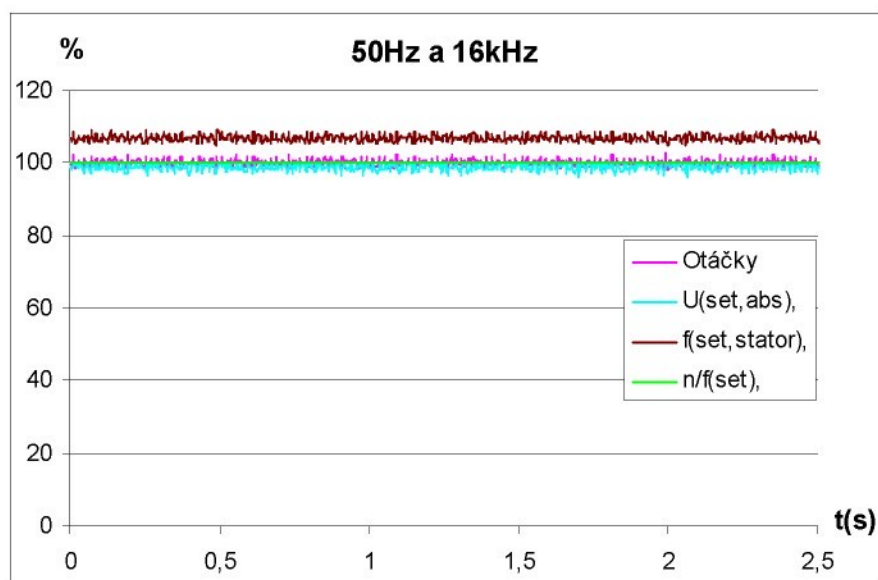


Graf č. 59 Vstupný filter – filtračná tlmivka – menič frekvencie – asynchrónny motor

Modulačná frekvencia: 16 kHz



Graf č. 60 Vstupný filter – filtračná tlmivka – menič frekvencie – asynchrónny motor



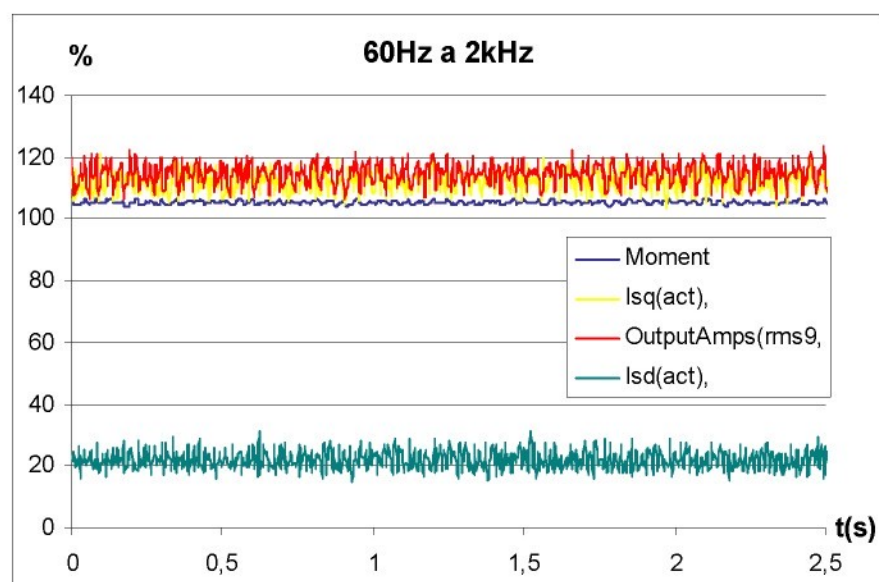
Graf č. 61 Vstupný filter – filtračná tlmivka – menič frekvencie – asynchrónny motor

Z grafov č. 56 až 61 je vidieť, že hodnota napájacieho napätia je konštantná a dosahuje 99%, otáčky odpovedajú hodnote 100% menovitých otáčok, frekvencii odpovedá hodnota 107 % privádzanej frekvencie, a požadované otáčky n/f dosahujú 100%. Moment so vzrastajúcou modulačnou frekvenciou klesá. Pri modulačnej frekvencii 2 kHz odpovedá 115%, pre 8 kHz je to 113% a pri 16 kHz je to 108%

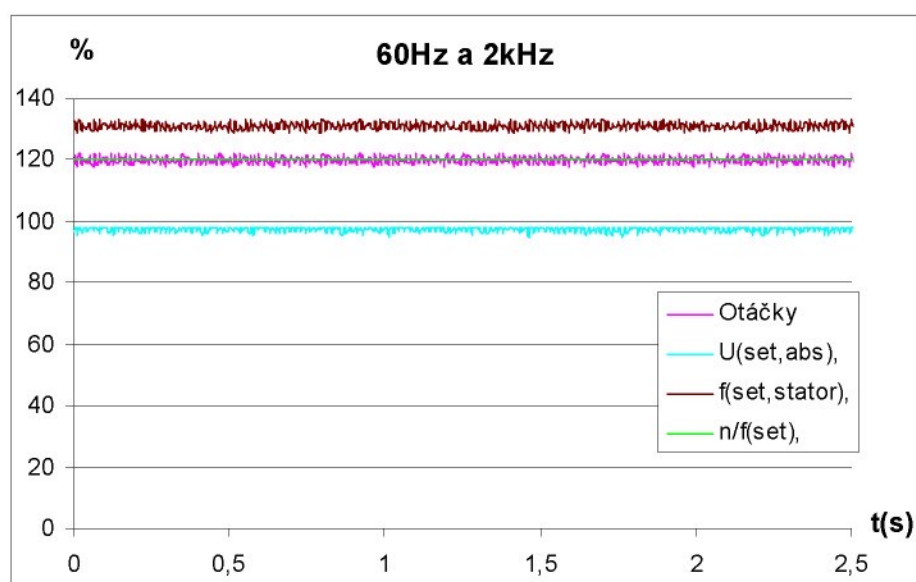
menovitého momentu. Momentotvorná zložka prúdu I_{sq} s rastúcou modulačnou frekvenciou klesá. Pri 2 kHz dosahuje hodnotu 87 % menovitého prúdu, pri 6 kHz je to 86 % a pri 16 kHz odpovedá hodnote 84 % menovitého prúdu. Tokotvorná zložka naopak rastie so zvyšujúcou modulačnou frekvenciou aj keď len nepatrne.

Frekvencia privádzaného napätia 60 Hz s kombináciami 2, 8 a 16 kHz

Modulačná frekvencia: 2 kHz

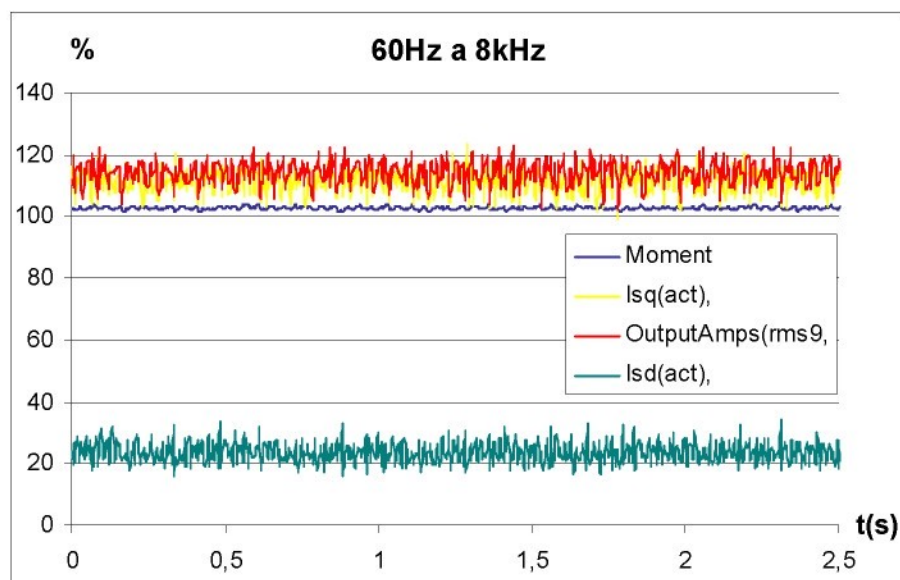


Graf č. 62 Vstupný filter – filtračná tlmivka – menič frekvencie – asynchrónny motor

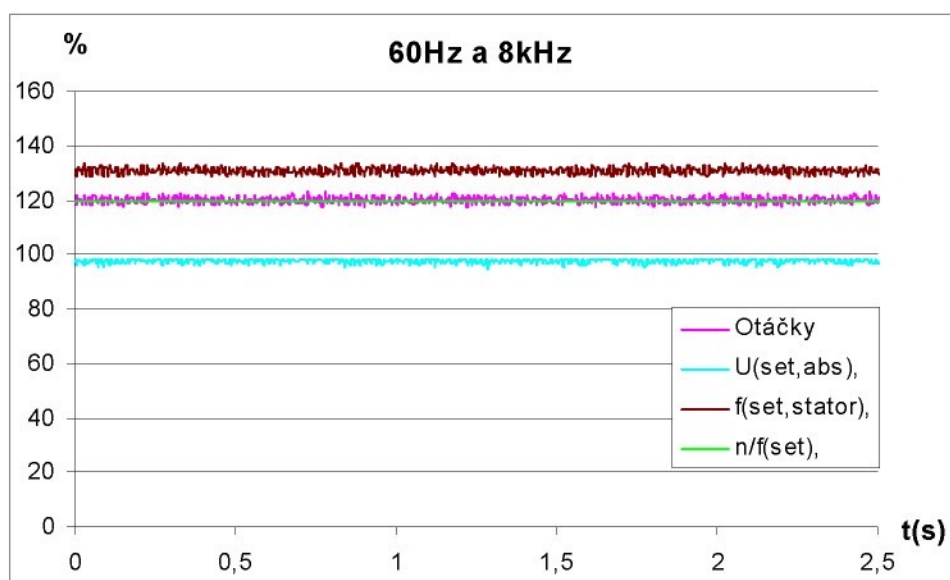


Graf č. 63 Vstupný filter – filtračná tlmivka – menič frekvencie – asynchrónny motor

Modulačná frekvencia: 8 kHz

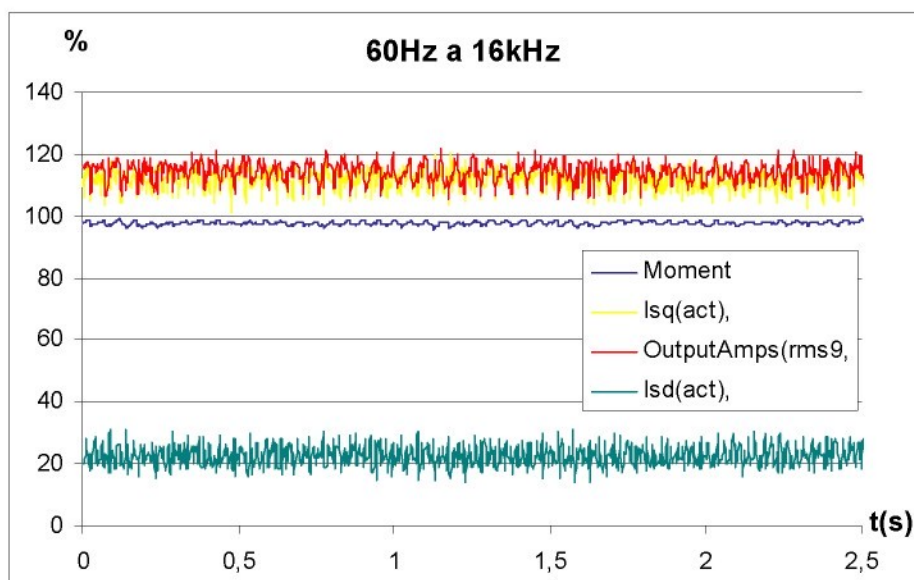


Graf č. 64 Vstupný filter – filtračná tlmivka – menič frekvencie – asynchrónny motor

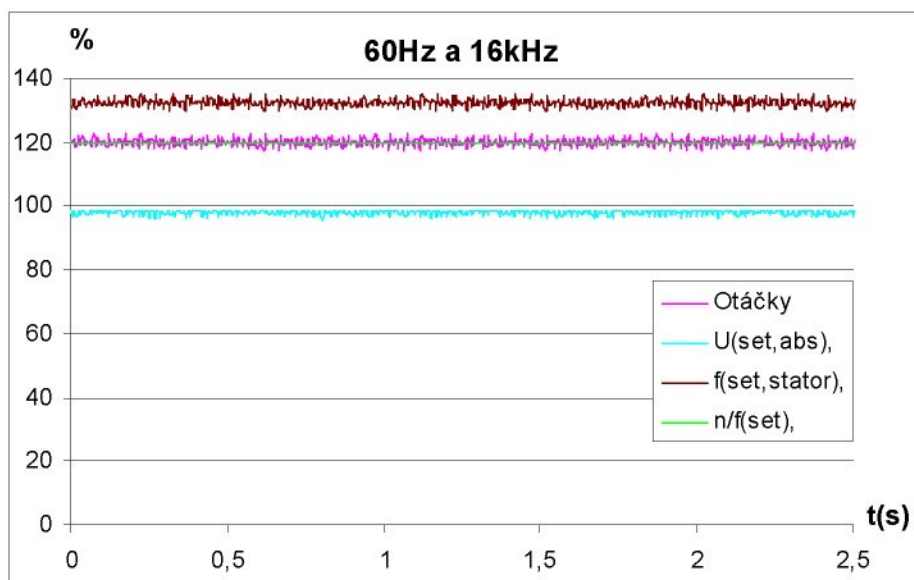


Graf č. 65 Vstupný filter – filtračná tlmivka – menič frekvencie – asynchrónny motor

Modulačná frekvencia: 16 kHz



Graf č. 66 Vstupný filter – filtračná tlmivka – menič frekvencie – asynchrónny motor



Graf č. 67 Vstupný filter – filtračná tlmivka – menič frekvencie – asynchrónny motor

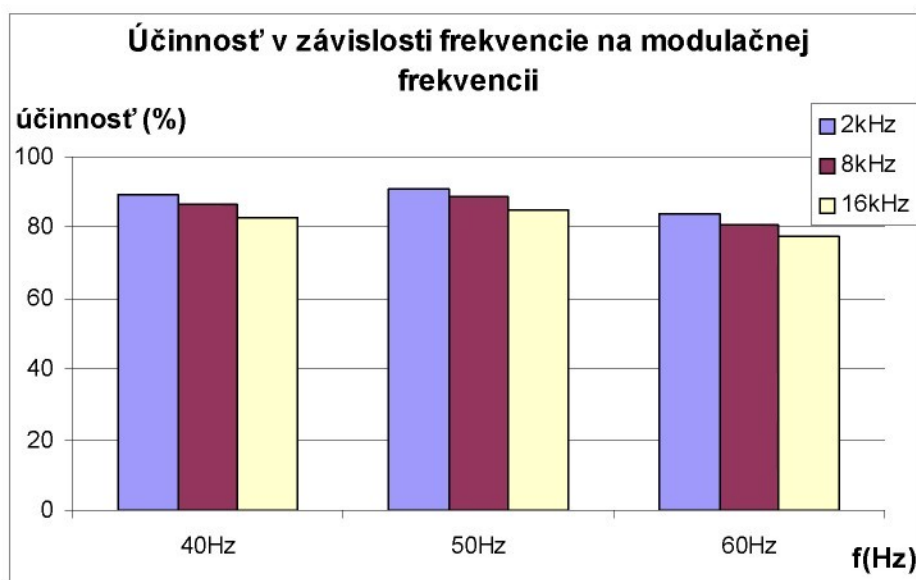
Z grafov č. 62 až 67 je vidieť, že hodnota napájacieho napätia je opäť konštantná a dosahuje 98%, otáčky odpovedajú hodnote 120% menovitých otáčok, a frekvencii odpovedá hodnota 131 % privádzanej frekvencii. Moment so vzrastajúcou modulačnou frekvenciou klesá. Pri modulačnej frekvencii 2 kHz odpovedá 105%, pre 8 kHz je to 103% a pri 16 kHz je to 97% menovitého momentu. Hodnoty momentotvornej zložky

prúdu dosahujú pri modulačných frekvenciách 2 a 8 kHz hodnotu 114% menovitého prúdu a pri modulačnej frekvencii je to 112 % menovitého prúdu. Pri frekvenciách 40 Hz a 50 Hz výstupný prúd dosahuje hodnotu 100% menovitého prúdu a pri privádzanej frekvencii 16 kHz je to 114 % menovitého prúdu.

Pri všetkých kombináciách privádzanej frekvencie s modulačnými frekvenciami tohto zapojenia platí, že so zvyšovaním modulačnej frekvencie a aj privádzanej frekvencie klesá moment a tým aj výkon.

3.5. Porovnanie získaných účinností.

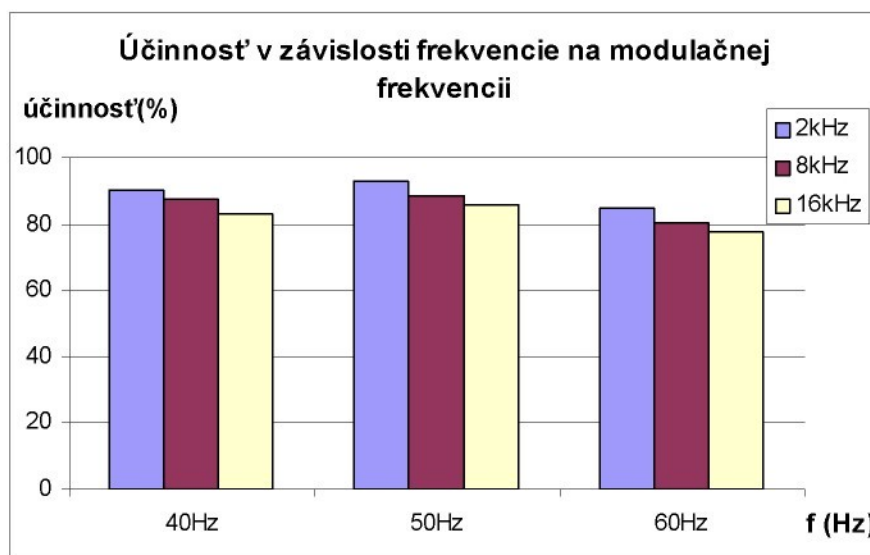
Účinnosti pri jednotlivých meraniach boli vypočítané podľa vzťahu (18). Výstupný výkon bol vypočítaný zo vzťahu (10) a to tak, že za moment bola dosadená priemerná hodnota jednotlivých momentov a za ω_s bola dosadená hodnota ktorá odpovedala jednotlivým frekvenciám. Ako 100% hodnota ω_s bola braná 104,7 rad/s, vypočítaná zo vzťahu (11) s tým že za $n_s = 1000 \text{ min}^{-1}$. Frekvencia 40 Hz odpovedá hodnote 80% a tým $\omega = 83,76 \text{ rad/s}$ a frekvencia 60 Hz odpovedá 120 % a tomu odpovedá $\omega = 125,64 \text{ rad/s}$. Za vstupný príkon (činný výkon) sa brali hodnoty odčítané z PA 4000 AC POWER ANALYSER pre jednotlivé zapojenia a tiež pre jednotlivé privádzané frekvencie a aj modulačné frekvencie.



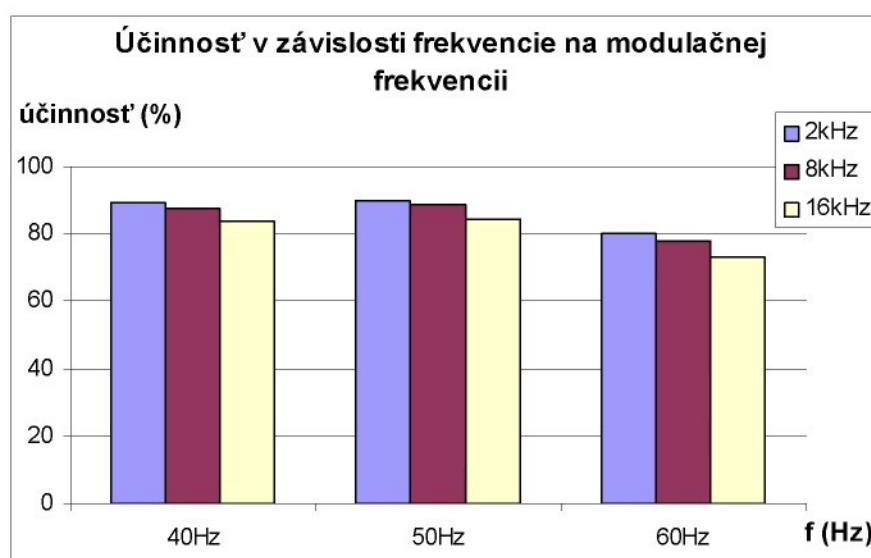
Graf č. 68 Získané účinnosti pri zapojení frekvenčný menič – asynchrónny motor

Z grafu č. 68 je vidieť, že s rastúcou modulačnou frekvenciou pri jednotlivých privádzaných frekvenciách účinnosť klesá. Čiže najvyššia účinnosť je pri modulačnej frekvencii 2 kHz a najnižšia pri modulačnej frekvencii 16 kHz. V tomto zapojení asynchrónny motor dosahuje najvyššie účinnosti pri frekvencii 50 Hz a to pri všetkých modulačných frekvenciách. Najvyššia účinnosť je dosiahnutá pri modulačnej frekvencii 2 kHz s napájacou frekvenciou 50 Hz.

Pre nasledujúce grafy č. 69 a 70 platí to isté ako v grafe č. 68 a to, že s rastúcou modulačnou frekvenciou účinnosť klesá a najvyššie účinnosti sú pri privádzaných frekvenciách 50 Hz s modulačnou frekvenciou 2 kHz.



Graf č. 69 Získané účinnosti pri zapojení vstupný filter - frekvenčný menič – asynchrónny motor



Graf č. 70 Získané účinnosti pri zapojení vstupný filter – filtračná tlmivka - frekvenčný menič - asynchrónny motor

4. Záver

Pri porovnaní sínusového (napájanie zo siete) a nesínusového napájania (z meniča frekvencie) je vidieť, že výstupné prúdy dosahujú približne rovnakých hodnôt. Pri skalárnom riadení dosahuje výstupný prúd v ustálenom stave 68 % (2,65 A) menovitého prúdu, pri vektorovom riadení je to 57,5 % (2,24 A) menovitého prúdu a pri napájaní sínusovým napätím dosahuje prúd 2,5 A.

Napätie $U_{(set,abs)}$ pri skalárnom riadení pri chode naprázdno dosiahlo 100% menovitého napätia tak ako je to aj u napájania sínusovým napätím, ale pri vektorovom riadení v ustálenom stave dosahuje hodnotu 92% menovitého napätia. Pri porovnávaní otáčok pri chode naprázdno v skalárnom aj vektorovom riadení dosahujú hodnotu 100% menovitých otáčok.

V zaťaženom stave AM sa pri vektorovom a aj skalárnom riadení výstupný prúd z frekvenčného meniča udržiava na hodnote 100% menovitého prúdu a 100 % hodnotu dosahujú otáčky u vektorového riadenia. Pri skalárnom riadení otáčky mierne klesnú pod hodnotu 100% menovitých otáčok, čo je zhodné s otáčkami pri napájaní zo siete pri zaťažení. Napätie $U_{(set,abs)}$ pri oboch riadeniach pri nesínusovom napájaní dosahuje hodnotu 100% menovitého napätia.

Pri všetkých zapojeniach asynchrónneho motora, frekvenčného meniča, vstupného filtra a filtračnej tlmivky platí, že pri privádzanej frekvencii 60 Hz sú hodnoty výstupného prúdu OutputAmps najvyššie a to isté platí aj pre momentotvornu zložku prúdu I_{sq} , naopak hodnoty tokotvornej zložky sú pri tejto frekvencii najnižšie. Hodnoty momentov porovnaných z grafov klesajú s rastúcimi privádzanými frekvenciami a tiež s rastúcimi modulačnými frekvenciami. Frekvenčný menič udržiava otáčky na požadovaných a tým je frekvencia vyššia než je zadaná. Nedá sa jednoznačne povedať, ktoré z týchto zapojení je najvhodnejšie na dosiahnutie najvyššej účinnosti asynchrónneho motora, lebo sa to rôzne mení podľa jednotlivých zapojení. No z vypočítaných hodnôt je viditeľné, že najvyššia účinnosť sa dosiahla pri zapojení vstupný filter – frekvenčný menič – asynchrónny motor a to pri privádzanej frekvencii 50 Hz s modulačnou frekvenciou 2 kHz. Podľa odčítaných momentov z grafov by najlepšie vyhovovalo celkovo zapojenie „vstupný filter – frekvenčný menič – asynchrónny motor, lebo v tomto zapojení sa dosahujú najvyššie momenty vo všetkých privádzaných frekvenciách a tiež aj pri modulačných frekvenciách. Najvyšší moment odpovedá privádzanej frekvencii 40 Hz a modulačnej frekvencii 2 kHz.

V prípade účinností, tomu tak nie je a to z dôvodu nepresnosti odčítania meraných hodnôt výkonu z analyzátora PA 4000 AC POWER ANALYSER. Odchýlky vo vypočítaných účinnostiach sú spôsobené problematickým odčítaním meniacich sa hodnôt všetkých elektrických veličín odčítaných z analyzátora. Toto bolo príčinou skreslenia výsledných vypočítaných účinností.

5.Literatúra

- [1] Bulgakov, A.A.: Řízení asynchronních motorů měniči frekvence, Praha 1989
- [2] Oetter, J.: Výkonová elektronika pre elektrické pohony, Bratislava 1988
- [3] Žabka, M.: Vliv napětového měniče kmitočtu na parametry asynchronního motoru, Diplomová práce, TU v Liberci 2002
- [4] Javůrek, J.: Regulace moderních elektrických pohonů, Praha 2003
- [5] Pavelka, J., Čerovský, Z., Javůrek, J.: Elektrické pohony, ČVUT Praha 2001
- [6] Solík, I., Ráček, V., Jansa, F.: Polovodičové meniče pre automatizované pohony, Bratislava 1977
- [7] Slávik, I.: Konštrukcia výkonových polovodičových meničov, Bratislava 1984
- [8] Vaculíková, P., a kol.: Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů, Praha 1998
- [9] Konečná, E., Richter, A.: Výkonová elektronika, TU v Liberci 1998
- [10] Konečná, E., Richter, A.: Elektrické stroje, TU v Liberci 2000
- [11] Valeš, P.: Vliv zapojení silového obvodu na účinnost asynchronního motoru, diplomová práce, TU v Liberci 2004

6. Zoznam príloh:

Príloha č. 1 : AM napájaný sínusovým a nesínusovým napätím

Príloha č. 2 : Meranie pri rôznych zapojeniach s odrušovacími prvkami v privode

Príloha 1

Na ukážku bola vybratá každá stá hodnota z každého merania.

AM napájaný sínusovým napätím

Chod na prázdno

S	Volts	Amps
-0,1	0	0,009766
-0,06	0,12207	0,009766
-0,02	0	0,009766
0,02	1,708984	-0,1416
0,06	1,708984	-0,00977
0,1	1,831055	-0,01221
0,14	1,831055	-0,01221
0,18	1,708984	-0,01709
0,22	1,586914	-0,00977
0,26	1,831055	-0,00244
0,3	1,708984	-0,00732
0,34	1,586914	0,002441
0,38	1,708984	0,007324
0,42	1,708984	-0,01709
0,46	1,586914	-0,00244
0,5	1,708984	-0,01709
0,54	1,708984	-0,00488
0,58	1,708984	0
0,62	1,708984	-0,00488
0,66	1,708984	0
0,7	1,586914	-0,00732
0,74	1,586914	-0,00244
0,78	1,586914	-0,00244
0,82	1,708984	-0,00488
0,86	1,586914	-0,00244

Zát'az na menovitý prúd

S	Volty	Apery
-0,2	-2,19727	-0,01367
-0,12	-2,19727	-0,02197
-0,04	-2,19727	-0,01465
0,04	-2,19727	-0,0166
0,12	-2,31934	-0,03809
0,2	-2,31934	-0,00732
0,28	-2,31934	-0,01953
0,36	-2,19727	-0,01758
0,44	-2,31934	-0,03271
0,52	-2,31934	-0,00928
0,6	-2,31934	0,00293
0,68	-2,31934	-0,01123
0,76	-2,44141	-0,00342
0,84	-2,31934	0,01416
0,92	-2,31934	-0,01221
1	-2,31934	-0,01416
1,08	-2,31934	-0,0166
1,16	-2,68555	-0,00635
1,24	-2,56348	-0,01074
1,32	-2,44141	-0,01074
1,4	-2,56348	-0,03711
1,48	-2,56348	0,001465
1,56	-2,44141	-0,01416
1,64	-2,56348	-0,0332
1,72	-2,44141	-0,01318

Otáčky naprázdno

Pos	otáčky
0	0
0,36	0
0,72	99,89624
1,08	99,27368
1,44	99,62769
1,8	99,00513
2,16	99,49951
2,52	100,7141
2,88	99,49951
3,24	100,1587
3,6	99,53613

Rozbeh pod záťažou

Pos	otáčky
0	0
0,36	7,922363
0,72	95,01953
1,08	93,99414
1,44	94,45801
1,8	94,14673
2,16	96,1792
2,52	95,59326
2,88	95,28809
3,24	94,75098
3,6	94,05518

Zát'az na menovité otáčky

Pos	otáčky
0	99,60327
0,36	96,81396
0,72	94,68384
1,08	97,3938
1,44	94,49463
1,8	94,70825
2,16	92,7063
2,52	96,04492
2,88	94,01855
3,24	94,24438
3,6	94,36646

AM napájaný nesínusovým napätím

Skalárne riadenie – chod naprázdno

Pos,	Otáčky	n/f(set),	U(set,abs),	f(set,stator),	OutputAmps(rms9,
0	0	0	0	0	0
0,36	0	0	0	0	0
0,72	91,12549	99,9939	94,40918	95,67871	91,07666
1,08	100,3601	99,9939	100	100,3418	34,32617
1,44	100,9766	99,9939	100	100,4883	34,021
1,8	98,54736	99,9939	100	100,1953	37,51221
2,16	100,0305	99,9939	100	100,6348	34,7168
2,52	100,7141	99,9939	100	100,1709	32,54395
2,88	100,5798	99,9939	100	100,1709	33,8501
3,24	100,4944	99,9939	100	100,0488	33,56934
3,6	101,0437	99,9939	100	100,1953	33,14209

Skalárne riadenie - zaťaž na menovité napätie

Pos,	Otáčky	U(set,abs),	f(set,stator),	OutputAmps(rms9,	n/f(set),
0	99,8291	100	100,4639	33,36182	99,9939
0,36	101,5869	100	100,3174	32,82471	99,9939
0,72	96,75293	100	101,6846	48,37646	99,9939
1,08	96,1792	100	102,1729	46,43555	99,9939
1,44	95,59326	100	102,417	45,8374	99,9939
1,8	99,56665	100	103,0273	48,02246	99,9939
2,16	98,15674	100	103,3447	49,19434	99,9939
2,52	98,28491	100	103,7109	49,56055	99,9939
2,88	98,93799	100	104,126	50,54932	99,9939
3,24	99,27368	100	104,4189	49,96338	99,9939
3,6	98,37646	100	104,6143	49,32861	99,9939

Vektorové riadenie – chod naprázdno

Pos,	Moment	Otáčky	n/f(set),	Isq(act),	U(set,abs)	f(set,stator),	OutputAmps(rms9,	Isd(act),
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,36	0,048828	0	99,9939	-0,24414	11,1084	0	72,14355	72,0459
0,72	3,759766	102,1973	99,9939	3,00293	93,94531	102,4658	58,12988	57,22656
1,08	5,273438	100,7019	99,9939	5,029297	93,16406	100,9766	57,56836	57,83691
1,44	5,395508	99,96338	99,9939	5,004883	92,28516	100,5859	57,4707	56,27441
1,8	5,419922	98,80981	99,9939	4,711914	91,04004	99,24316	56,25	56,32324
2,16	4,663086	98,74268	99,9939	3,466797	90,89355	99,14551	56,44531	56,56738
2,52	5,297852	99,69482	99,9939	4,80957	91,89453	100,0732	56,90918	56,68945
2,88	5,444336	98,30933	99,9939	4,101563	91,47949	98,99902	57,95898	58,69141
3,24	6,103516	100,3601	99,9939	5,200195	92,94434	100,6592	58,52051	57,17773
3,6	5,786133	100,4272	99,9939	6,518555	92,72461	100,5615	58,30078	56,15234

Vektorové riadenie – zaťaž na menovité napätie

Pos,	Moment	Otáčky	Isq(act),	U(set,abs),	f(set,stat or),	OutputAmps(rms9,	Isd(act),	n/f(set),
0	7,495117	97,96143	4,345703	90,20996	98,21777	59,00879	57,25098	99,9939
0,36	7,788086	100,4456	8,032227	93,01758	100,9033	57,05566	57,15332	99,9939
0,72	101,5869	91,36963	91,08887	95,94727	97,97363	98,31543	55,34668	99,9939
1,08	97,14355	96,43555	63,69629	99,38965	101,9531	104,7607	57,25098	99,9939
1,44	94,60449	99,89624	85,54688	99,21875	105,5664	102,8809	54,32129	99,9939
1,8	93,4082	100,0977	83,78906	99,19434	105,7617	102,2949	53,2959	99,9939
2,16	93,53027	100,7751	83,59375	99,14551	106,3232	103,6377	50,14648	99,9939
2,52	93,84766	100,2258	86,93848	99,19434	105,4688	101,9287	55,56641	99,9939
2,88	92,38281	100,1587	83,93555	99,19434	105,7617	96,16699	55,32227	99,9939
3,24	93,28613	100,4456	78,68652	99,21875	106,1279	104,0039	50,80566	99,9939
3,6	93,45703	100,3601	87,69531	99,19434	105,835	102,2949	54,76074	99,9939

Príloha 2

Meranie pri rôznych zapojeniach s odrušovacími prvkami v prívode

Frekvenčný menič - asynchrónny motor

40Hz a2kHz

Pos,	Moment	otáčky	n/f(set),	Isq(act),	U(set,ab s),	f(set,stator),	OutputAmps (rms9,	Isd(act),
0	119,714	79,98047	79,99878	78,19824	86,2060	85,400390	95,5078125	60,05859
0,36	119,390	80,2002	79,99878	81,81152	85,6445	85,473632	97,19238281	55,10254
0,72	118,823	79,07715	79,99878	81,78711	86,3769	85,864257	102,6855469	51,53809
1,08	118,109	80,45654	79,99878	81,25	88,2080	87,011718	99,82910156	60,47363
1,44	118,347	82,83691	79,99878	79,78516	88,1835	88,745117	94,40917969	56,44531
1,8	118,585	80,41382	79,99878	74,85352	87,3535	85,693359	96,41113281	52,85645
2,16	118,554	80,61523	79,99878	74,12109	87,3291	85,424804	100,1708984	55,59082
2,52	118,731	78,91235	79,99878	81,32324	86,8164	85,180664	101,3427734	61,13281
2,88	117,718	79,87671	79,99878	83,95996	87,5488	86,962890	95,14160156	52,92969
3,24	117,871	82,16553	79,99878	78,58887	90,0878	89,233398	98,12011719	52,66113
3,6	118,7012	80,34668	79,99878	76,58691	87,5732	85,864257	96,45996094	62,20703

40 Hz a 8 kHz

Pos,	Moment	Otáčky	n/f(set),	Isq(act),	U(set,abs),	f(set,stator ,),	OutputAmps(rms9,	Isd(act),
0	114,6545	79,07715	79,99878	77,46582	88,5498	85,37598	98,58398	54,80957
0,36	114,386	80,83496	79,99878	75,12207	91,69922	87,08496	98,55957	58,47168
0,72	114,978	79,71191	79,99878	76,12305	87,3291	85,32715	96,75293	64,28223
1,08	115,3992	80,51147	79,99878	81,93359	87,30469	86,08398	97,65625	55,32227
1,44	115,4846	78,33252	79,99878	84,74121	88,94043	84,98535	106,25	58,8623
1,8	114,9536	78,97339	79,99878	83,76465	88,25684	84,96094	98,12012	65,33203
2,16	114,447	80,67017	79,99878	81,34766	90,40527	87,03613	94,40918	57,76367
2,52	115,1001	79,76685	79,99878	75,07324	87,1582	85,25391	98,97461	56,71387
2,88	116,2598	80,08423	79,99878	82,59277	86,96289	85,62012	106,958	65,60059
3,24	116,0522	78,01514	79,99878	88,42773	85,4248	84,61914	101,1475	60,00977
3,6	115,3076	79,29077	79,99878	78,34473	88,8916	84,86328	101,1475	55,05371

40 Hz a 16kHz

Pos,	Moment	Otáčky	Isq(act),	U(set,abs),	f(set,stat or),	OutputAmps (rms9,	Isd(act),	n/f(set),
0	110,217	79,50439	78,68652	87,45117	85,00977	101,1475	59,8877	79,99878
0,36	110,333	72,75391	72,75391	89,67285	85,7666	103,6377	62,76855	79,99878
0,72	110,241	69,53125	69,53125	89,4043	86,1084	93,38379	67,04102	79,99878
1,08	110,662	71,24023	71,24023	88,69629	85,91309	95,3125	60,25391	79,99878
1,44	110,717	72,80273	72,80273	88,45215	85,27832	102,124	67,21191	79,99878
1,8	110,479	80,12695	80,12695	87,30469	85,10742	97,16797	63,40332	79,99878
2,16	110,363	74,56055	74,56055	88,94043	86,13281	99,85352	60,40039	79,99878
2,52	110,272	67,94434	67,94434	89,67285	86,25488	94,9707	66,6748	79,99878
2,88	110,424	74,97559	74,97559	88,13477	86,4502	92,04102	63,94043	79,99878
3,24	110,394	72,87598	72,87598	87,91504	85,30273	98,53516	60,86426	79,99878
3,6	110,809	78,02734	78,02734	87,03613	85,40039	102,8809	66,50391	79,99878

50 Hz a 2 kHz

Pos,	Moment	otáčky	Isq(act),	U(set,abs),	f(set,stator),	OutputAmps(rms9,	Isd(act),	n/f(set),
0	116,7358	99,8291	78,4668	102,3682	106,1768	102,124	49,34082	99,9939
0,36	116,7053	99,9634	82,44629	102,2949	106,3721	105,8594	51,24512	99,9939
0,72	116,5283	99,762	87,5	101,709	106,2256	103,6377	55,27344	99,9939
1,08	116,0217	99,6704	93,75	99,97559	106,2988	92,16309	49,63379	99,9939
1,44	116,0522	100,006	91,16211	99,95117	106,4209	88,52539	45,92285	99,9939
1,8	116,2048	100,36	83,05664	102,2705	106,1523	97,97363	47,09473	99,9939
2,16	116,4124	100,293	78,73535	102,417	106,0059	100,3662	50,75684	99,9939
2,52	116,2292	100,293	82,37305	102,3438	106,25	107,6904	51,9043	99,9939
2,88	116,3208	100,58	88,91602	100,0488	106,1768	101,7334	52,75879	99,9939
3,24	115,3381	100,494	92,43164	99,58496	106,1035	94,87305	52,56348	99,9939
3,6	115,6677	100,769	90,64941	100,9766	106,0791	93,65234	51,46484	99,9939

50Hz a 8kHz

Pos,	Moment	otáčky	Isq(act),	U(set,abs),	f(set,stator),	OutputAmps(rms9,	Isd(act),	n/f(set),
0	112,060	101,721	83,74023	101,9775	107,7393	99,85352	61,05957	99,9939
0,36	112,536	101,996	86,1084	101,3428	107,8613	98,36426	59,2041	99,9939
0,72	113,104	101,996	87,25586	101,1719	107,8125	101,9287	58,1543	99,9939
1,08	113,342	102,057	84,57031	101,6113	107,9834	102,2949	58,8623	99,9939
1,44	112,927	101,99	85,52246	101,5869	108,2031	100,3662	59,05762	99,9939
1,8	112,744	101,788	84,375	102,0508	108,0566	100,7568	58,37402	99,9939
2,16	112,896	101,788	84,00879	102,124	108,3496	101,1475	59,39941	99,9939
2,52	112,420	101,587	83,52051	102,1973	107,9346	101,3428	60,7666	99,9939
2,88	112,475	101,52	88,52539	101,4648	108,1055	98,9502	57,08008	99,9939
3,24	112,866	101,453	87,01172	101,416	108,2764	98,51074	59,25293	99,9939

50Hz a 16kHz

Pos,	Moment	otáčky	Isq(act),	U(set,abs),	f(set,stator),	OutputAmps(rms9,	Isd(act),	n/f(set),
0	108,8135	100,84	83,61816	101,0986	106,1035	99,60938	55,32227	99,9939
0,36	108,0688	100,84	83,61816	100,8301	106,4209	99,53613	54,8584	99,9939
0,72	108,6975	100,7	86,18164	100	106,4941	95,19043	54,63867	99,9939
1,08	109,7961	100,71	86,88965	99,8291	106,6406	98,51074	58,22754	99,9939
1,44	109,7107	100,7	88,81836	99,58496	106,7139	101,5381	59,93652	99,9939
1,8	109,7351	101,1	83,34961	101,001	106,7383	104,1992	55,07813	99,9939
2,16	108,6975	100,98	77,6123	101,9775	106,6162	106,0547	55,49316	99,9939
2,52	110,0037	100,84	78,80859	101,2939	106,4941	105,3223	54,1748	99,9939
2,88	108,606	100,97	83,61816	101,0498	106,7871	102,2949	58,49609	99,9939
3,24	109,259	100,78	82,05566	100,5371	106,6895	100,1709	59,39941	99,9939
3,6	109,6497	100,78	80,63965	101,2207	106,7383	95,97168	59,00879	99,9939

60Hz a 2kHz

Pos,	Moment	otáčky	lsq(act),	U(set,abs),	f(set,stat or),	OutputAmps(rms9,	lsd(act),	n/f(set),
0	108,2458	122,7173	103,2715	101,5625	131,0791	110,0342	30,88379	119,9951
0,36	107,9529	120,2026	103,2227	101,7822	130,0049	115,918	25,1709	119,9951
0,72	108,728	120,8496	101,6602	102,1729	130,4443	108,96	32,10449	119,9951
1,08	108,2458	117,7795	101,1719	102,2217	128,6133	113,1836	27,80762	119,9951
1,44	108,3374	119,7632	99,4873	102,2217	131,4209	106,7871	34,10645	119,9951
1,8	107,7698	122,8882	102,5635	101,5625	131,8359	106,4209	27,7832	119,9951
2,16	108,1909	120,0256	105,3955	101,2451	130,1025	111,9629	24,58496	119,9951
2,52	108,5449	120,929	101,2695	102,2217	130,835	106,0547	32,6416	119,9951
2,88	107,8613	117,688	108,252	101,0986	128,3691	111,9629	29,6875	119,9951
3,24	108,3069	119,3604	97,11914	102,1973	130,7373	106,958	27,9541	119,9951
3,6	108,783	122,1497	102,5391	102,124	132,6172	108,96	27,31934	119,9951

60Hz a 8kHz

Pos,	Otáčky	n/f(set),	Moment	lsq(act),	U(set,abs),	f(set,stat or),	OutputAmps(rms9,	lsd(act),
0	120,4468	119,9951	103,7476	98,51074	102,3438	131,8604	105,127	32,44629
0,36	122,4731	119,9951	104,8523	105,249	99,6582	131,4941	110,9131	27,41699
0,72	120,2881	119,9951	104,8218	104,0527	101,4893	130,6396	105,8594	28,97949
1,08	120,6848	119,9951	105,0903	105,6396	101,6846	130,8838	104,9561	33,71582
1,44	117,3401	119,9951	104,9988	106,543	101,4893	128,7598	103,833	34,35059
1,8	120,0439	119,9951	104,3457	100,0488	102,1973	131,4941	98,24219	35,44922
2,16	121,8201	119,9951	105,1208	103,4912	100,7324	132,3242	110,376	28,51563
2,52	119,5435	119,9951	104,9438	107,3975	101,4893	131,25	111,4502	31,54297
2,88	120,105	119,9951	105,6274	104,3457	102,3193	131,0547	112,5	36,62109
3,24	117,4683	119,9951	105,8044	107,373	102,0264	128,3447	114,3799	34,05762
3,6	119,6289	119,9951	104,7913	100,2441	102,2217	131,1035	110,0342	38,40332

60Hz a 16kHz

Pos,	Moment	lsd(act),	Otáčky	n/f(set),	lsq(act),	U(set,abs),	f(set,stat or),	OutputAmps(rms9,
0	99,84741	21,948242	120,5078	119,9951	110,5225	100,6348	132,0313	112,5
0,36	101,1902	34,716797	120,0256	119,9951	104,8584	101,9775	131,4453	110,7422
0,72	100,2075	30,078125	117,6208	119,9951	110,9131	101,1719	129,541	107,8857
1,08	99,93896	29,541016	119,2261	119,9951	91,43066	101,9043	131,6162	107,6904
1,44	101,3977	31,37207	122,3816	119,9951	99,38965	101,8066	133,4473	110,0342
1,8	99,90845	29,150391	119,6289	119,9951	109,4482	101,0254	132,1045	116,0889
2,16	100,5615	35,9375	119,6289	119,9951	102,4658	101,9531	131,7627	111,9629
2,52	100,0854	32,519531	117,7002	119,9951	107,1777	102,002	128,6865	103,833
2,88	100,0549	27,929688	119,1467	119,9951	94,82422	102,0508	131,2744	105,8594
3,24	101,6052	36,865234	121,3318	119,9951	98,90137	102,0752	133,8867	107,3242
3,6	100,2075	22,949219	119,3848	119,9951	108,5205	100,5859	131,665	112,1338

Vstupný filter – filtračná tlmička – frekvenčný menič – asynchronný motor

40Hz a 2kHz

Pos,	Otáčky	Moment	n/f(set),	Isq(act),	U(set,abs),	f(set,stator),	OutputAmps (rms9,	Isd(act),
0	79,44946	118,2251	79,99878	78,2959	87,1582	85,32715	98,92578	53,97949
0,36	80,88989	118,6462	79,99878	77,44141	87,47559	86,32813	94,31152	59,44824
0,72	79,81567	119,6899	79,99878	77,92969	86,25488	84,17969	105,127	55,61523
1,08	79,44946	118,9697	79,99878	80,24902	86,30371	84,64355	96,72852	58,54492
1,44	80,45654	119,2078	79,99878	79,54102	85,96191	85,79102	104,5654	54,93164
1,8	78,92456	118,4631	79,99878	84,13086	85,54688	85,00977	96,50879	56,90918
2,16	80,61523	118,3777	79,99878	73,70605	88,8916	86,49902	98,46191	58,8623
2,52	80,24292	119,6289	79,99878	80,00488	84,35059	84,61914	97,3877	57,39746
2,88	79,66309	118,4631	79,99878	78,10059	86,88965	84,76563	100	57,66602
3,24	80,61523	119,1528	79,99878	82,27539	85,83984	85,96191	97,99805	55,15137
3,6	78,92456	118,3777	79,99878	82,69043	86,03516	85,00977	101,1475	59,81445

40 Hz a 8 kHz

Pos,	Otáčky	Moment	n/f(set),	Isq(act),	U(set,abs),	f(set,stator),	OutputAmps(rms9,	Isd(act),
0	78,7536	116,7053	79,9987	78,56445	87,79297	84,32617	98,97461	57,0556
0,36	78,5400	117,4561	79,9987	84,0332	86,57227	84,49707	104,0039	58,4716
0,72	79,2358	116,4978	79,9987	76,44043	89,35547	85,49805	95,01953	57,4707
1,08	79,9316	116,6504	79,9987	76,24512	87,35352	84,98535	97,9248	57,8857
1,44	79,3945	116,9739	79,9987	78,24707	87,23145	84,30176	101,7334	58,1543
1,8	80,0842	116,7358	79,9987	80,76172	89,50195	83,71582	102,2949	58,0566
2,16	78,7109	117,1265	79,9987	79,83398	86,52344	83,74023	104,3945	58,3740
2,52	79,4494	116,2598	79,9987	75,90332	90,47852	84,69238	97,65625	58,2519
2,88	79,9255	116,6504	79,9987	76,14746	87,89063	84,98535	100,9521	58,8134
3,24	79,9804	116,7969	79,9987	77,68555	87,47559	84,25293	103,2471	58,1543
3,6	80,8166	116,5283	79,9987	77,70996	89,96582	84,42383	99,6582	58,0322

40 Hz a 16 kHz

Pos,	Otáčky	Moment	n/f(set),	Isq(act),	U(set,abs),	f(set,stator),	OutputAmps(rms9,	Isd(act),
0	79,71191	111,1084	79,9987	76,80664	89,69727	84,8388	102,8809	64,9169
0,36	79,50439	111,1389	79,9987	75,29297	87,4023	85,4248	96,72852	61,4746
0,72	80,67017	111,7065	79,9987	78,88184	86,6943	85,4736	100,5615	69,0429
1,08	79,44946	111,4685	79,9987	77,88086	90,2832	85,3271	104,9561	64,7460
1,44	79,81567	111,2	79,9987	75,95215	87,5976	84,9121	98,65723	60,9619
1,8	79,87671	110,9314	79,9987	81,95801	87,8906	85,2294	97,41211	67,6757
2,16	79,50439	111,5234	79,9987	71,41113	87,9882	85,1806	101,1475	62,9394
2,52	79,92554	111,5234	79,9987	80,00488	86,4502	85,4003	99,34082	60,8154
2,88	79,02832	111,615	79,9987	84,91211	88,4521	85,5224	99,41406	67,9199
3,24	79,3457	111,4685	79,9987	74,43848	87,3046	85,4003	103,4424	63,6718
3,6	80,24292	111,1389	79,9987	83,10547	86,6210	85,4003	100,7568	60,9863

50Hz a 2kHz

Pos,	Otáčky	Moment	n/f(set),	lsq(act),	U(set,abs),	f(set,statord),	OutputAmps(rms9,	lsd(act),
0	98,8769	114,447	99,9939	82,73926	99,51172	105,4688	101,9287	44,8730
0,36	99,0722	114,8926	99,9939	80,46875	99,51172	105,3711	101,5381	45,5322
0,72	98,9379	114,624	99,9939	83,76465	99,38965	105,542	98,90137	43,1884
1,08	99,0051	114,0869	99,9939	88,98926	98,36426	105,5664	88,74512	43,6279
1,44	98,7426	114,5325	99,9939	93,26172	97,48535	105,249	90,42969	45,7519
1,8	99,0051	114,502	99,9939	92,72461	98,41309	105,3711	92,06543	46,5087
2,16	99,0356	114,624	99,9939	87,40234	99,36523	104,9805	98,0957	49,829
2,52	99,1699	114,8926	99,9939	83,59375	99,34082	105,2734	101,3428	44,3359
2,88	99,1699	114,5935	99,9939	84,375	98,85254	105,249	99,46289	42,8710
3,24	99,3347	113,5803	99,9939	90,625	96,85059	105,3955	89,81934	43,1396
3,6	98,9746	114,325	99,9939	94,94629	96,77734	105,4688	91,30859	45,0683

50 Hz a 8kHz

Pos,	Otáčky	Moment	n/f(set),	lsq(act),	U(set,abs),	f(set,statord),	OutputAmps(rms9,	lsd(act),
0	102,465	113,9404	99,9939	87,45117	99,04785	107,959	101,5381	54,37012
0,36	102,264	114,2639	99,9939	80,78613	99,14551	107,959	102,8809	54,63867
0,72	102,056	114,0564	99,9939	78,56445	99,14551	107,8369	102,124	55,76172
1,08	101,721	112,4207	99,9939	82,83691	99,14551	108,2031	95,67871	54,66309
1,44	102,130	113,8184	99,9939	84,79004	99,14551	107,9346	101,3428	53,10059
1,8	101,788	112,8052	99,9939	83,61816	99,14551	108,3252	97,09473	55,85938
2,16	101,788	114,2944	99,9939	77,92969	99,14551	108,7891	102,8809	49,6582
2,52	101,245	113,7024	99,9939	83,66699	99,19434	108,252	96,92383	55,95703
2,88	101,110	114,0564	99,9939	75,90332	99,09668	108,667	102,8809	50,24414
3,24	100,427	113,1958	99,9939	86,62109	99,21875	108,2031	95,09277	56,27441
3,6	100,628	112,7747	99,9939	78,68652	99,21875	108,4961	100,9521	49,4873

50Hz a 16 kHz

Pos,	Otáčky	Moment	n/f(set),	lsq(act),	U(set,abs),	f(set,statord),	OutputAmps(rms9,	lsd(act),
0	99,5666	108,0078	99,9939	89,77051	99,12109	106,7383	93,11523	51,1230
0,36	99,8291	107,2632	99,9939	83,37402	99,51172	106,665	101,5381	46,4355
0,72	99,6276	107,2632	99,9939	89,59961	99,51172	106,6162	92,67578	47,2412
1,08	99,9633	108,3374	99,9939	88,03711	99,56055	106,7139	98,80371	52,2949
1,44	99,6704	106,3721	99,9939	83,08105	99,56055	106,4941	99,87793	46,4355
1,8	99,8046	108,0994	99,9939	93,11523	98,48633	106,5186	91,82129	49,2919
2,16	99,6948	106,9946	99,9939	84,375	99,58496	106,5674	102,124	46,9482
2,52	99,7619	107,1167	99,9939	91,52832	99,19434	106,6406	90,42969	45,1660
2,88	99,6948	107,9773	99,9939	87,81738	99,58496	106,543	99,58496	53,8330
3,24	99,6948	106,9397	99,9939	84,17969	99,58496	106,543	99,53613	45,2392
3,6	99,4323	107,8003	99,9939	92,87109	98,33984	106,4209	94,04297	50,5615

60Hz a 2kHz

Pos,	Otáčky	Moment	n/f(set),	Isq(act),	U(set,abs),	f(set,stator),	OutputAmps(rms9,	Isd(act),
0	119,4641	106,5491	119,9951	114,3555	96,92383	132,666	119,5557	23,3886
0,36	118,5608	104,3762	119,9951	113,1836	97,43652	130,7373	109,4971	22,0947
0,72	121,1792	105,6885	119,9951	105,957	97,99805	132,7148	116,9189	20,3857
1,08	118,8782	105,3589	119,9951	112,915	96,97266	129,7119	112,5	20,3369
1,44	119,2261	104,8218	119,9951	112,8174	97,94922	130,6396	116,4063	20,3369
1,8	118,9575	105,658	119,9951	110,7422	97,99805	131,7139	119,5557	19,6533
2,16	118,4814	104,8523	119,9951	110,9863	97,90039	130,2979	107,6904	24,5849
2,52	121,0083	104,8523	119,9951	108,0322	97,97363	132,5928	118,4082	26,2695
2,88	118,7561	105,3284	119,9951	114,209	96,38672	129,7607	120,7031	17,2607
3,24	119,1223	105,3284	119,9951	113,8428	97,97363	130,4443	115,4053	22,1435
3,6	119,281	105,2124	119,9951	113,0615	97,9248	130,6396	116,2354	22,9003

60Hz a 8kHz

Pos,	Otáčky	Moment	n/f(set),	Isq(act),	U(set,abs),	f(set,stator),	OutputAmps(rms9,	Isd(act),
0	119,122	102,5269	119,995	115,918	97,60742	130,1025	111,792	23,9257
0,36	119,543	103,4851	119,995	109,4727	98,33984	130,6885	116,9189	21,6064
0,72	117,968	102,6184	119,995	108,7158	98,21777	129,9316	118,7256	21,9238
1,08	120,764	102,6489	119,995	108,0566	98,21777	131,6895	111,2549	25,3418
1,44	118,481	103,6011	119,995	116,0156	95,97168	129,3457	122,6318	22,8027
1,8	118,994	102,2034	119,995	108,9844	98,29102	129,9316	117,4072	19,8974
2,16	119,866	102,6794	119,995	107,9346	98,31543	129,6631	118,4082	28,3691
2,52	118,994	103,0945	119,995	112,6221	98,12012	129,3701	110,0342	22,7294
2,88	121,337	103,4241	119,995	105,3955	98,29102	131,9092	116,4063	21,4355
3,24	119,628	102,887	119,995	111,9141	96,92383	129,2236	122,9492	27,0263
3,6	119,805	102,7405	119,995	114,917	98,2666	130,0537	111,4502	23,7793

60Hz a 16kHz

Pos,	Otáčky	Moment	n/f(set),	Isq(act),	U(set,abs),	f(set,stator),	OutputAmps(rms9,	Isd(act),
0	120,184	97,52197	119,995	109,4727	98,55957	130,542	115,5762	19,9462
0,36	120,929	97,70508	119,995	106,3232	98,51074	132,8857	113,5254	19,9707
0,72	120,684	97,40601	119,995	112,3047	96,92383	131,9824	118,4082	21,9238
1,08	119,305	96,56982	119,995	116,9189	97,26563	131,7383	112,5	15,4541
1,44	120,025	96,99097	119,995	111,9873	98,6084	132,1045	114,209	26,7578
1,8	120,605	97,85156	119,995	117,1387	97,19238	131,1523	117,2607	25,4394
2,16	120,929	97,43652	119,995	112,2314	98,6084	133,1787	112,8418	24,1210
2,52	120,929	97,82104	119,995	111,8652	97,72949	132,3975	116,0889	23,4863
2,88	119,305	96,83838	119,995	119,1162	97,07031	131,8115	113,1836	15,9179
3,24	116,949	94,93408	119,995	100,4883	98,75488	128,1738	104,0039	35,8398
3,6	94,8303	96,53931	119,995	73,97461	93,26172	101,5625	91,35742	55,7861

Vstupný filter – frekvenčný menič - asynchronný motor

40Hz a 2kHz

Pos	Moment	Otáčky	n/f(set),	lsq(act),	U(set,abs)	f(set,stator),	OutputAmps(rms9,	lsd(act),
0	119,0613	80,18799	79,9987	82,08008	88,47656	85,32715	98,53516	54,2236
0,36	120,0134	80,2063	79,9987	75,68359	85,57129	85,7666	93,33496	58,7158
0,72	119,8364	79,50439	79,9987	80,41992	85,74219	84,0332	99,73145	61,0839
1,08	120,166	79,50439	79,9987	80,10254	86,93848	84,22852	101,7334	55,6152
1,44	119,7144	79,60815	79,9987	85,86426	85,22949	84,66797	100,3662	53,4179
1,8	119,4763	80,56641	79,9987	84,44824	87,25586	85,03418	95,84961	58,1054
2,16	119,5374	80,56641	79,9987	74,12109	86,64551	85,88867	95,70313	63,0127
2,52	120,1965	80,35889	79,9987	76,66016	86,66992	84,27734	103,0762	56,5673
2,88	120,0439	79,87061	79,9987	79,76074	86,01074	84,22852	101,5381	53,0517
3,24	119,8975	79,98047	79,9987	85,03418	85,88867	84,93652	98,73047	54,1503
3,6	119,2993	80,70679	79,9987	82,9834	87,91504	85,49805	97,82715	60,5224

40 Hz a 8kHz

Pos,	Moment	Otáčky	n/f(set),	lsq(act),	U(set,abs),	f(set,stator),	OutputAmps(rms9,	lsd(act),
0	117,034	79,92554	79,9987	84,8877	86,25488	85,69336	99,34082	58,862
0,36	116,619	78,49121	79,9987	85,30273	88,94043	85,18066	103,833	63,5009
0,72	115,632	79,39453	79,9987	77,80762	88,42773	85,30273	101,1475	56,4941
1,08	115,572	81,21338	79,9987	82,00684	89,67285	86,03516	94,55566	62,1093
1,44	116,467	79,44946	79,9987	72,0459	87,06055	84,64355	101,3428	64,3554
1,8	116,949	80,08423	79,9987	78,27148	86,66992	85,66895	105,3223	55,7373
2,16	116,680	78,07007	79,9987	88,57422	87,06055	84,49707	102,124	58,4228
2,52	116,528	79,07715	79,9987	79,22363	88,37891	85,00977	102,6855	62,8662
2,88	115,814	81,29883	79,9987	80,83496	89,03809	86,08398	100,3662	55,6640
3,24	116,143	79,87671	79,9987	77,29492	86,35254	85,08301	96,67969	61,4257
3,6	117,126	79,97437	79,9987	78,56445	86,54785	85,37598	105,127	64,1845

40 Hz a 16 kHz

Pos,	Moment	Otáčky	n/f(set),	lsq(act),	U(set,abs)	f(set,stator),	OutputAmps(rms9,	lsd(act),
0	111,377	79,4494	79,9988	71,77734	88,35449	85,15625	104,5654	62,3779
0,36	110,7483	79,9743	79,9988	72,80273	89,33105	86,52344	93,79883	62,3291
0,72	110,9863	79,5043	79,9988	71,55762	88,86719	85,13184	99,09668	69,6044
1,08	110,9009	79,6630	79,9988	77,53906	89,59961	85,00977	106,958	63,2324
1,44	111,1389	79,7668	79,9988	80,00488	91,38184	85,88867	96,89941	63,8427
1,8	111,554	79,4494	79,9988	74,51172	87,91504	85,20508	99,92676	68,9209
2,16	110,8398	80,1452	79,9988	71,04492	89,86816	86,15723	96,26465	61,4502
2,52	111,0168	79,3945	79,9988	75,09766	87,76855	85,05859	94,40918	62,6953
2,88	111,2	79,8706	79,9988	81,27441	88,25684	84,93652	102,8809	69,5068
3,24	110,6018	79,7119	79,9988	77,58789	91,1377	85,44922	100,5615	60,9863
3,6	111,1084	79,2907	79,9988	79,39453	87,06055	85,13184	95,43457	63,9892

50 Hz a 2 kHz

Pos	Moment	Otáčky	n/f(set),	Isq(act),	U(set,abs)	f(set,stator),	OutputAmps(rms9,	Isd(act),
0	118,585	99,0051	99,9939	88,98926	98,80371	106,1035	106,7871	53,3203
0,36	118,170	99,2981	99,9939	83,08105	101,2695	105,8105	100,1709	59,5214
0,72	117,303	99,8291	99,9939	89,84375	100,1953	105,3711	97,3877	52,7099
1,08	117,932	99,8291	99,9939	87,59766	100,5127	105,3955	102,8809	50,5615
1,44	117,932	99,9206	99,9939	84,52148	101,9043	105,5176	108,0566	53,3935
1,8	117,395	99,9389	99,9939	84,49707	101,123	104,9316	104,5654	57,4951
2,16	117,511	100,225	99,9939	82,37305	101,6113	104,9316	97,14355	55,6152
2,52	117,694	100,579	99,9939	90,50293	99,87793	104,9561	99,63379	52,5390
2,88	117,541	100,647	99,9939	91,65039	101,3916	105,4443	100,1709	51,4892
3,24	118,347	100,494	99,9939	88,59863	100,0732	105,127	107,5195	52,8564
3,6	117,663	100,561	99,9939	90,4541	99,90234	105,1514	106,0547	56,8847

50Hz a 8kHz

Pos,	Moment	Otáčky	n/f(set),	Isq(act),	U(set,abs)	f(set,stator),	OutputAmps(rms9,	Isd(act),
0	113,580	100,4944	99,9939	78,83301	102,1973	108,252	91,77246	60,937
0,36	111,944	99,89624	99,9939	83,64258	102,2217	107,8613	78,58887	50,8789
0,72	112,805	99,53613	99,9939	68,9209	102,1729	107,1045	91,8457	49,4140
1,08	113,311	99,89624	99,9939	82,25098	102,124	107,4707	90,91797	56,6162
1,44	111,645	98,70605	99,9939	74,60938	102,0508	106,4697	84,83887	49,7558
1,8	114,386	98,80981	99,9939	69,50684	102,0752	106,0547	99,41406	52,6855
2,16	112,744	98,67554	99,9939	78,78418	102,0508	105,8594	84,74121	53,0029
2,52	113,879	99,53613	99,9939	74,29199	102,124	106,7871	98,04688	51,8554
2,88	113,372	98,93799	99,9939	79,98047	102,1729	106,25	93,18848	53,9306
3,24	112,060	98,67554	99,9939	79,27246	102,1973	105,3955	88,42773	50,6103
3,6	113,726	98,93799	99,9939	74,43848	102,0264	105,3955	93,38379	58,4228

50 Hz a 16kHz

Pos,	Moment	Otáčky	n/f(set),	Isq(act),	U(set,abs)	f(set,stator),	OutputAmps(rms9,	Isd(act),
0	109,442	99,20654	99,9939	80,78613	101,7334	105,7861	99,85352	60,20508
0,36	109,381	99,23706	99,9939	86,13281	101,7578	105,7861	100,5615	58,20313
0,72	109,051	99,20654	99,9939	87,45117	101,4648	105,6885	93,38379	56,86035
1,08	108,966	99,07227	99,9939	84,32617	101,709	105,542	93,11523	53,39355
1,44	108,099	99,36523	99,9939	82,44629	101,6846	105,542	91,60156	50,3418
1,8	108,752	99,46899	99,9939	75,70801	101,6846	105,4932	100,5615	50,75684
2,16	108,483	99,43237	99,9939	73,63281	101,7578	105,5176	99,24316	51,61133
2,52	109,082	99,8291	99,9939	74,46289	101,7578	105,5908	103,2471	53,75977
2,88	108,636	100,0305	99,9939	81,15234	101,7334	105,7373	100,7568	57,69043
3,24	109,228	99,62769	99,9939	82,03125	101,7822	105,3711	99,34082	59,81445
3,6	108,007	99,62769	99,9939	85,25391	101,8066	105,4443	90,42969	57,39746

60 Hz a 2 kHz

Pos,	Otáčky	n/f(set),	moment	lsq(act),	U(set,abs),	f(set,statord),	OutputAmps(rms9,	lsd(act),
0	118,87	119,995	109,1431	106,6406	101,6357	128,833	111,9629	31,2011
0,36	120,288	119,995	108,1909	102,2461	101,6113	128,6865	106,7871	34,0576
0,72	120,10	119,995	109,0515	105,1025	100,7324	126,7822	115,2344	28,2226
1,08	120,605	119,995	108,4839	102,5879	101,6357	129,9561	104,3945	29,4677
1,44	120,941	119,995	108,728	103,6133	100,9033	128,7354	112,1338	28,4179
1,8	118,914	119,995	108,3069	106,2012	101,6357	128,9795	109,668	27,7343
2,16	120,446	119,995	109,1431	105,249	101,6357	129,1748	103,0762	34,0820
2,52	121,16	119,995	109,7351	106,2988	101,5869	127,3438	109,668	27,3925
2,88	120,684	119,995	109,3201	104,9805	101,5381	129,5166	106,0547	30,8837
3,24	122,229	119,995	110,4248	109,6924	100,5615	129,4922	111,792	32,470
3,6	118,719	119,995	108,0688	105,2979	101,4893	128,7109	108,96	20,7519

60 Hz a 8 kHz

Pos,	Moment	Otáčky	n/f(set),	lsq(act),	U(set,abs),	f(set,statord),	OutputAmps(rms9,	lsd(act),
0	104,998	118,5974	119,995	114,502	100,7324	128,6133	109,668	27,4414
0,36	106,311	121,0876	119,995	105,224	101,6113	132,5684	114,209	38,4521
0,72	105,450	122,876	119,995	112,915	99,09668	130,9326	111,6211	29,6875
1,08	105,120	120,4468	119,995	115,454	99,07227	129,6387	108,4229	28,4668
1,44	106,012	120,6055	119,995	103,418	101,6846	129,9316	107,8857	25,8789
1,8	104,943	118,3289	119,995	117,700	99,34082	128,9795	110,7422	27,2949
2,16	106,225	119,9646	119,995	105,615	101,4893	131,6406	112,1338	37,6953
2,52	105,566	123,2178	119,995	115,649	99,43848	131,7139	111,4502	28,6377
2,88	105,926	120,2698	119,995	115,991	98,58398	130,0537	115,918	25,4882
3,24	104,791	121,0876	119,995	106,079	101,4893	130,542	101,9287	31,6894
3,6	106,073	118,3289	119,995	110,083	100,0244	128,7598	113,0127	31,2988

60Hz a 16 kHz

Pos,	Moment	Otáčky	n/f(set),	lsq(act),	U(set,abs),	f(set,statord),	OutputAmps	lsd(act),
0	100,799	118,719	119,995	106,811	101,0742	129,0283	112,6709	29,2480
0,36	100,207	121,502	119,995	100,024	101,0742	132,7881	107,3242	30,2978
0,72	100,799	120,367	119,995	109,790	99,21875	129,3945	116,9189	30,7861
1,08	100,445	119,866	119,995	108,569	100,6348	129,9561	110,0342	22,7539
1,44	100,921	119,885	119,995	98,6816	101,001	130,1025	110,5713	34,8877
1,8	100,500	118,560	119,995	108,935	100,293	129,0039	112,8418	29,6630
2,16	101,159	120,849	119,995	102,465	100,9766	132,3486	108,7891	32,7636
2,52	100,445	121,582	119,995	111,938	98,70605	130,5176	111,792	28,9306
2,88	100,293	119,885	119,995	110,864	100,8545	129,9072	103,2471	24,8779
3,24	101,190	120,684	119,995	103,540	101,001	130,2246	104,5654	32,3486
3,6	101,129	118,286	119,995	110,6201	99,51172	129,248	105,3223	33,0566