



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

VLIV NAPĚŤOVÉ VARIANTY MĚNIČE KMITOČTU NA PARAMETRY ASYNCHRONNÍHO MOTORU

EFFECT OF VOLTAGE VARIANT OF A FREQUENCY CONVERTER ON ASYNCHRONOUS MOTOR PARAMETERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Pavlas

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Bárta, Ph.D.

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Student: Michal Pavlas

ID: 220777

Ročník: 3

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Vliv napěťové varianty měniče kmitočtu na parametry asynchronního motoru

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Proveďte literární rešerši na téma vlastností regulovaných pohonů s asynchronními stroji.
2. Popište podmínky pro měření účinnosti a ztrát točivých elektrických strojů na základě normy IEC 60034-2-3.
3. Pro zadaný stroj a měniče proveďte měření v definovaných pracovních bodech dle normy IEC 60034-2-3.
4. Vyhodnoťte účinnost celého pohonu pro jednotlivé způsoby napájení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] PYRHONEN, J.; JOKINEN t.; HRABOVCOVÁ V. Design of rotating electrical machines. John Wiley and Sons, 2007. ISBN 978-0-470-69516-6.
- [2] Juha Pyrhonen , Valeria Hrabovcova , R. Scott Semken: Electrical Machine Drives Control : An Introduction, ISBN: 9781119260455 (EN)
- [3] A. E. Fitzgerald, Ch. Kingsley, S. Umans "Electric Machinery", McGraw-Hill Companies Inc., 2003. 688 s. ISBN 0-07-112193-5

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 31.5.2022

Vedoucí práce: Ing. Jan Bárta, Ph.D.

prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na rešerše odborné literatury, jež se zabývají vlastnostmi regulovaných pohonů s asynchronními stroji. V práci je popsána možnost provozu třífázového asynchronního stroje napájeného přímo z jednofázové sítě bez frekvenčního měniče. V další části jsou rešerše zaměřeny na téma, jež se zabývá vlivem harmonických měniče frekvence na parametry asynchronního motoru. Následně jsou na základě normy IEC 60034-2-3 popsány specifické zkušební metody určování ztrát a účinností střídavých motorů napájených z měničů frekvence. Poslední část práce je věnována posouzení vlivu napěťové varianty měniče kmitočtu na parametry asynchronního motoru.

Abstract

This bachelor thesis is focused on literature researches, dealing with the properties of controlled drives with asynchronous machines. The work describes the possibility of operation of a three-phase asynchronous machine directly powered from a single-phase network without a frequency converter. In the next part, the research is focused on a theme dealing with the influence of harmonics of the converter on the parameters of an asynchronous motor. Subsequently, specific test methods for determining the losses and efficiencies of AC motors powered by frequency converters are described on the basis of the IEC 60034-2-3 standard. The last part of this bachelor thesis is devoted to the assessment of the influence of the voltage variant of the frequency converter on the parameters of the asynchronous motor.

Klíčová slova

asynchronní stroj, harmonické měniče frekvence, měnič frekvence, norma IEC 60034-2-3, pomocný kondenzátor, regulovaný pohon, jednofázová síť, třífázová síť, ztráty, účinnost

Keywords

induction machine, harmonics of the frequency converter, frequency converter, IEC 60034-2-3 standard, supply auxiliary capacitor, regulated drive, one-phase network, three-phase network, losses, efficiency

Bibliografické citace:

Citace tištěné práce:

PAVLAS, Michal. *Vliv napěťové varianty měniče kmitočtu na parametry asynchronního motoru*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/142815>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce Jan Bárta.

Citace elektronického zdroje:

PAVLAS, Michal. *Vliv napěťové varianty měniče kmitočtu na parametry asynchronního motoru [online]*. Brno, 2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/142815>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce Jan Bárta.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Vliv napěťové varianty měniče kmitočtu na parametry asynchronního motoru“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

Podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

Poděkování

Děkuji vedoucímu mojí bakalářské práce panu Ing. Janu Bártovi, Ph.D. za odbornou a vstřícnou pomoc a nespočet cenných rad při psaní mojí bakalářské práce.

Děkuji také kolektivu zaměstnanců zkušebny Siemens, s.r.o., Odštěpný závod Elektromotory Mohelnice, Divize Motion Control, a to konkrétně panu Ing. Petru Fialovi a Ing. Ivu Tkáčovi, za poskytnutí odborné pomoci, věcných rad, komponentů pro měření, měřicího pracoviště a pomoc se samotným měřením.

V Brně dne

Podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

Obsah

| | |
|--|----|
| Úvod | 9 |
| 1 Vlastnosti regulovaných pohonů s asynchronními stroji | 10 |
| 1.1 Základní princip regulace rychlosti asynchronních strojů | 10 |
| 1.2 Provoz třífázového asynchronního stroje bez měniče frekvence | 11 |
| 1.2.1 Provoz třífázového asynchronního stroje napájeného přímo z jednofázové sítě | 11 |
| 1.2.2 Popis chování třífázového asynchronního motoru napájeného z jednofázové sítě s jedním pomocným kondenzátorem | 12 |
| 1.2.3 Další zkoumané metody zapojení | 12 |
| 1.2.4 Využití třífázového asynchronního stroje s pomocným kondenzátorem jako generátoru, který na výstupu poskytuje jednofázovou síť | 13 |
| 1.2.5 Empirický vzorec pro určení potřebné kapacity pomocného kondenzátoru .. | 13 |
| 1.2.6 Modelový příklad provozu třífázového asynchronního motoru napájeného z jednofázové sítě s jedním pomocným kondenzátorem | 14 |
| 1.3 Řízení pomocí měniče frekvence | 17 |
| 1.3.1 Druhy měničů frekvence | 17 |
| 1.3.2 Skalární řízení asynchronního motoru v otevřené smyčce dle křivky U/f ... | 18 |
| 1.3.3 Skalární řízení asynchronního motoru v uzavřené smyčce | 20 |
| 1.3.4 Vektorové řízení asynchronního motoru | 20 |
| 1.3.5 Řídící technologie | 20 |
| 1.3.6 Snímání rychlosti..... | 21 |
| 1.3.7 Schéma zapojení nepřímého měniče frekvence | 21 |
| 1.3.8 Řízení spínacích tranzistorů | 22 |
| 1.3.9 Brzdění asynchronního motoru do frekvenčního měniče | 24 |
| 2 Vliv harmonických měniče frekvence na parametry motoru | 25 |
| 2.1 Časové harmonické..... | 26 |
| 2.1.1 Asynchronní momenty | 26 |
| 2.1.2 Synchronní momenty | 27 |
| 2.1.3 Vibrační momenty | 27 |
| 2.1.4 Hluk při činnosti asynchronního stroje..... | 28 |
| 3 Norma IEC 60034-2-3 | 28 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.1 | <i>Ztráty asynchronního motoru při napájení z měniče</i> | 28 |
| 3.1.1 | Základní ztráty | 29 |
| 3.1.2 | Přídavné vysokofrekvenční ztráty | 29 |
| 3.2 | <i>Další termíny z normy IEC 60034-2-3</i> | 29 |
| 3.2.1 | Základní rozsah otáček | 29 |
| 3.2.2 | Spínací kmitočet..... | 29 |
| 3.3 | <i>Základní informace o měření</i> | 29 |
| 3.3.1 | Obecně | 29 |
| 3.3.2 | Analyzátor výkonu a převodník..... | 30 |
| 3.3.3 | Mechanický výkon motoru | 30 |
| 3.3.4 | Zkušební metody pro určení účinnosti motorů napájených z měničů | 30 |
| 3.4 | <i>Metoda 2-3-A – Přímé měření vstupu a výstupu</i> | 31 |
| 3.4.1 | Zkušební postup..... | 31 |
| 3.4.2 | Určení účinnosti..... | 31 |
| 3.4.3 | Měření v 7 normalizovaných bodech | 32 |
| 3.4.4 | Přídavné ztráty v důsledku poklesu napětí na měniči kmitočtu | 33 |
| 4 | <i>Měření</i> | 33 |
| 4.1 | <i>Schéma zapojení měření</i> | 41 |
| 4.2 | <i>Průběh měření</i> | 42 |
| 4.3 | <i>Snímek z termokamery</i> | 45 |
| 4.4 | <i>Snímek zvlnění napětí na DC meziobvodu měniče kmitočtu</i> | 45 |
| 4.5 | <i>Tabulky naměřených hodnot</i> | 46 |
| 5 | <i>Vyhodnocení naměřených dat</i> | 47 |
| 5.1 | <i>Vyhodnocení naměřených účinností měniče kmitočtu</i> | 47 |
| 5.2 | <i>Vyhodnocení naměřených účinností motoru</i> | 48 |
| 5.3 | <i>Vyhodnocení naměřených účinností soustavy asynchronní motor + měnič frekvence</i> | 48 |
| 5.4 | <i>Vyhodnocení oteplení v čelech vinutí</i> | 51 |
| 5.5 | <i>Vyhodnocení napětí na DC meziobvodu měniče kmitočtu</i> | 51 |
| 5.6 | <i>Porovnání průběhů napětí a proudů na měniči kmitočtu</i> | 52 |
| 5.7 | <i>Porovnání průběhů napětí a proudů na asynchronním motoru</i> | 54 |
| | <i>Závěr</i> | 55 |
| | <i>Literatura</i> | 59 |
| | <i>Seznam symbolů a zkratk</i> | 61 |
| | <i>Seznam obrázků</i> | 64 |
| | <i>Seznam tabulek</i> | 66 |
| | <i>Příloha: Protokoly z měření ve zkušebně Siemens, s.r.o.</i> | 67 |

ÚVOD

Trendem moderní doby je snižování dopadu energetiky na životní prostředí. Mezi základní pilíře by měla patřit jednak co nejefektivnější a ekologicky šetrná výroba elektřiny, jednak její účelná, hospodárná a efektivní spotřeba.

Řada lidí si staví energeticky nezávislé domy, které dokážou kompletně pokrýt vlastní spotřebu a často i dodávat přebytky elektrické energie do sítě. Nicméně, ať už máme energii vlastní, či ze sítě, je třeba ji co nejefektivněji spotřebovat. To souvisí s faktem, že se neustále klade vyšší a vyšší důraz na zvyšování energetické účinnosti elektrických spotřebičů, přičemž se snažíme docílit co nejlepších účinnostních tříd. Ty jsou popsány v normě ČSN EN 60034-30-1, přičemž účinnostní třída IE1 odpovídá motorům s nejnižší a IE5 motorům s nejvyšší účinností [1]. Tato myšlenka motivovala autora této práce k tomu, aby se o danou problematiku zajímal. Později tuto ideu směřoval na asynchronní motory, protože právě ony spotřebují významnou část elektrické energie nejen v průmyslu, ale i v domácnostech. Mohli by sice být nahrazeny motory modernějšími s vyšší účinností, nicméně to by pravděpodobně bylo, jednak konstrukčně, jednak ekonomicky, velmi náročné. Jako výhodnější cesta se nabízí používat pro napájení asynchronních motorů frekvenční měniče tak, aby tato soustava dosahovala co nejvyšší účinnosti.

Díky úspěšně navázané spolupráci s průmyslovou firmou Siemens Elektromotory Mohelnice byla proměřena soustava třífázový a jednofázový měnič frekvence (řada Siemens G120 o výkonu 1,1 kW) v kombinaci s asynchronním motorem (řada Siemens 1LE, osová výška 80 mm, čtyřpólové provedení o nominálním výkonu 0,75 kW) za účelem vyšetření elektrických parametrů a oteplení elektromotoru v závislosti na napájení z jednofázového a třífázového měniče frekvence v definovaných pracovních bodech. Výsledky zmiňované studie jsou prezentovány v kapitole Vyhodnocení naměřených dat. V teoretické části práce se její autor zabývá možnostmi provozování třífázového asynchronního motoru napájeného z jednofázové sítě bez měniče frekvence. Následně je rozebrán princip fungování měniče frekvence a pozornost je zaměřena na skalární řízení v otevřené a uzavřené smyčce. Další kapitola pojednává o harmonických měniče frekvence a jejich vlivu na parametry motoru se zaměřením na časové harmonické. Poslední teoretická kapitola se opírá o normu IEC 60034-2-3. Popisuje ztráty v asynchronním motoru a zkušební metody pro určení účinností motorů napájených z měničů.

1 Vlastnosti regulovaných pohonů s asynchronními stroji

1.1 Základní princip regulace rychlosti asynchronních strojů

Asynchronní stroje, napájené přímo ze sítě, pracují s konstantní statorovou frekvencí mezi stavy bez zátěže a stavy s nominálním skluzem. Otáčky se mezi těmito stavy liší jen o několik procent. Klecové asynchronní stroje proto lze provozovat pouze s frekvenčním měničem, jestliže je požadována regulace jejich otáček. Tyto frekvenční měniče generují tři fáze s proměnlivou výstupní frekvencí, což ovlivňuje synchronní rychlost a získáváme tedy asynchronní stroj s proměnlivou rychlostí [2]. Pokud regulace rychlosti není požadována, lze asynchronní stroje provozovat napřímo z napájecí sítě. Zajímavou, ale pouze nouzovou, alternativou je provoz třífázového asynchronního stroje z jednofázové sítě s využitím pomocné kapacity zapojené paralelně k jedné statorové cívice viz následující podkapitola 1.2.

Nyní budou popsány základní matematické vztahy pro otáčky asynchronního motoru. Nejprve je zapotřebí definovat skluz s , který je dle literatury [3] definován jako:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 \quad (1.1)$$

kde n_s jsou otáčky pole statoru a n jsou otáčky rotoru.

Frekvence pole rotoru f_r je závislá na frekvenci pole statoru f_s dle vztahu [3]:

$$f_r = s \cdot f_s \quad (1.2)$$

kde f_s je frekvence pole statoru, s je skluz a f_r je frekvence pole rotoru.

Otáčky motoru závisí dle literatury [3] na síťovém kmitočtu a počtu pólových dvojic v statorovém magnetickém obvodu podle vztahu:

$$n_s = \frac{60 \cdot f_s}{p} \quad (1.3)$$

kde f_s je frekvence pole statoru a p je počet pólových dvojic.

Nyní již můžou být definovány otáčky rotoru. Vyjádřením lze podle literatury [3] psát:

$$n = (1 - s) \cdot n_s \quad (1.4)$$

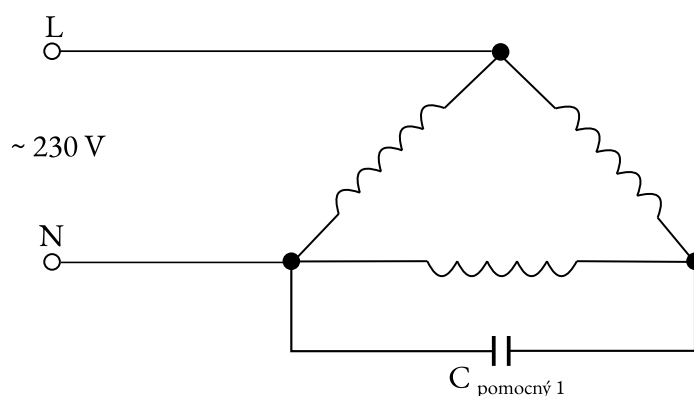
kde s je skluz a n_s jsou otáčky pole statoru.

1.2 Provoz třífázového asynchronního stroje bez měniče frekvence

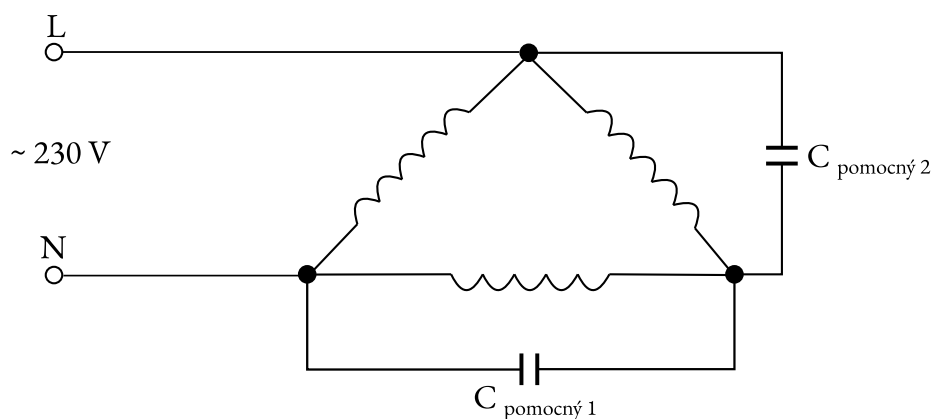
1.2.1 Provoz třífázového asynchronního stroje napájeného přímo z jednofázové sítě

Čas od času se objeví okolnosti vedoucí k tomu, že je nutností třífázový asynchronní stroj provozovat napájený nouzově pouze z jednofázové sítě napřímo bez měniče frekvence. Příkladem může být například situace, kdy na určitém místě třífázová síť není zavedena z historických důvodů a má tam dočasně pracovat stroj s třífázovým asynchronním motorem nebo frekvenční měnič nemáme k dispozici nebo je jeho pořízení finančně nevýhodné vzhledem k účelu a plánované době využití. V jiném případě může dojít k dočasnému výpadku jedné fáze napájecí soustavy a pokud je na provozu třífázového asynchronního stroje závislá důležitá aplikace, u které nelze čekat na obnovení řádného třífázového napájení, lze se uchýlit k napájení z jednofázové sítě s pomocným kondenzátorem zapojeným paralelně k jedné cívce vinutí statoru asynchronního stroje. Lze také využít zapojení se dvěma kondenzátory paralelně ke dvěma cívkám statoru. Zároveň je nutností, aby stator takto napájeného asynchronního stroje byl zapojen do trojúhelníku (D) [4]. Jedná se tedy o třífázové motory se zapojením D/Y 230/400 V. Toto zapojení se nazývá Steinmetzovo [5] a nachází praktické využití v domácích spotřebičích a menších pracovních strojích.

Uvedené technické řešení je ale považováno pouze za nouzové a není ideální takto třífázový stroj napájet dlouhodobě. Vznikající magnetické pole je točivé stejně jako při řádném třífázovém napájení, ale liší se od něj tvarem. Zatímco řádné třífázové magnetické pole je kruhové, při napájení z jednofázové sítě dochází k degradaci a magnetické pole se zploští a získá tvar elipsoidní [4]. Obvykle lze takto zapojit motory jen do cca 2 kW [6], protože dochází k jednofázovému zatěžování sítě. Různé způsoby zapojení pomocných kondenzátorů jsou uvedeny na Obr. 1.1, 1.2 a 1.3.



Obr. 1.1: Schéma zapojení třífázového asynchronního motoru napájeného z jednofázové sítě s jedním pomocným kondenzátorem, překresleno z literatury [6].



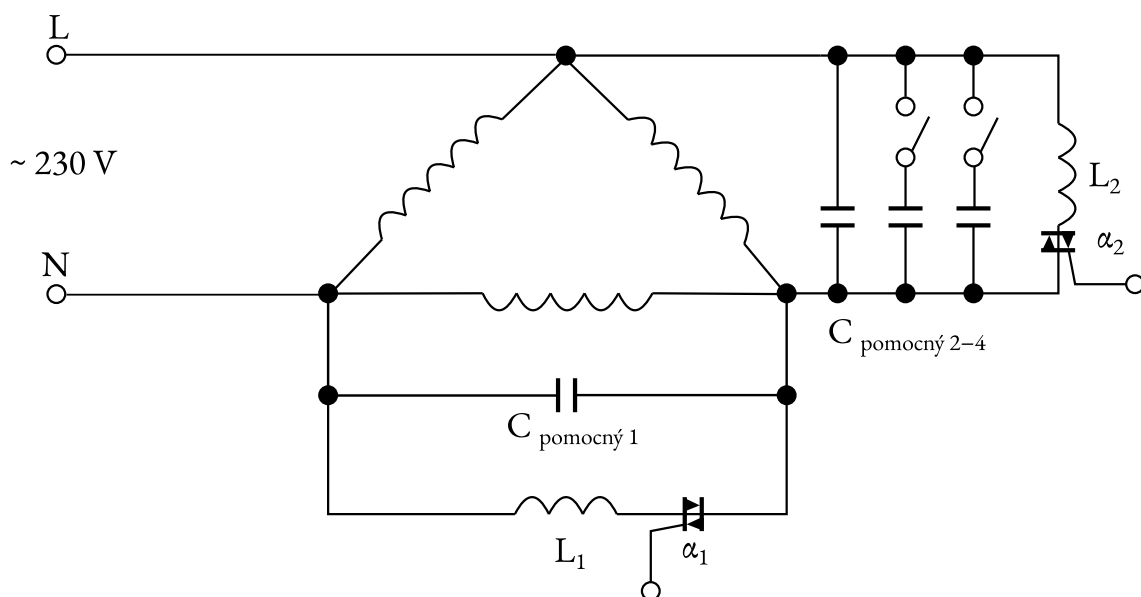
Obr. 1.2: Schéma zapojení třífázového asynchronního motoru napájeného z jednofázové sítě se dvěma pomocnými kondenzátory, překresleno z literatury [6].

1.2.2 Popis chování třífázového asynchronního motoru napájeného z jednofázové sítě s jedním pomocným kondenzátorem

V této kapitole bude toto nouzové technické řešení rozebráno a popsáno. Platí, že napětí a proudy jsou nevyvážené. Velikost této asymetrie lze poměrně účinně omezit použitím vhodné velikosti kapacity kondenzátoru, přidávaného paralelně k jedné statorové cívkce v trojúhelníkovém zapojení statoru, což bylo prokázáno i měřením [4]. Jako optimální se jeví využít metodu stanovení matematického modelu na základě aproximace stavových proměnných, nicméně tato metoda je velmi komplikovaná a nebyly u ní dostatečně prověřeny vlastnosti točivého momentu [4]. Dle této literatury dochází v důsledku nesymetrie ke snížení účinnosti a poklesu točivého momentu asynchronního stroje.

1.2.3 Další zkoumané metody zapojení

Byla navržena i další metoda, která se ale dostala pouze do fáze simulace. Jedná se o metodu využívající zapojení několika kondenzátorů paralelně společně s tyristory a cívkami ke dvěma fázím v trojúhelníkovém zapojení statoru. Tyto tyristory byly regulovány na základě snímání rychlosti otáčení od startu až po jmenovitý stav plné rychlosti. Metodou se jako první zabývali C. E. Tindall a W. Monteith ve své práci s názvem „Balanced operation of three-phase induction motors connected to single-phase supplies“ již v roce 1976. Následně se tuto variantu pokoušel vylepšit P. G. Holmes v práci s názvem „Single to 3 - phase transient phase conversion in induction motor drives“ v roce 1985 [7]. Schéma zapojení je uvedeno na Obr. 1.3.



Obr. 1.3: Schéma zapojení třífázového asynchronního motoru napájeného z jednofázové sítě s pomocnými kondenzátory spínanými spínači a tyristory spínanými indukčnostmi na základě snímání rychlosti otáčení. Ilustrace volně přebírá myšlenky z literatury [7].

1.2.4 Využití třífázového asynchronního stroje s pomocným kondenzátorem jako generátoru, který na výstupu poskytuje jednofázovou síť

Je zřejmé, že jestliže lze provozovat třífázový asynchronní motor na jednofázové síti, půjde tuto soustavu provozovat i v obráceném směru. Třífázový generátor generuje střídavé třífázové napětí, u kterého, pomocí kapacitoru zapojeného paralelně k cívce statoru generátoru zapojeného do trojúhelníku, dochází k fázovému posunu generovaného napětí a na výstupu tak lze provádět odběr pouze jednofázově. Toto využití má své nevýhody, stejně jako třífázový motor napájený z jednofázové sítě [8] viz část (1.2.1).

1.2.5 Empirický vzorec pro určení potřebné kapacity pomocného kondenzátoru

V praxi se pro výpočet kapacity kondenzátoru připojeného paralelně ke statoru asynchronního stroje v zapojení do trojúhelníku používají často empirické vztahy, které dávají poměrně dobré výsledky. Tyto výpočty nejsou zcela přesné, nicméně pro svoji jednoduchost nacházejí uplatnění. Je složité najít optimální kapacitu kondenzátoru. Pro rozběh by byla vhodnější jiná velikost kapacity než pro běh stroje ve jmenovitých otáčkách. Volí se proto kompromis mezi velikostí kapacity potřebné pro rozběh a kapacitou potřebnou pro provoz ve jmenovitých otáčkách.

Empirických vzorců existuje vícero, ale uveden bude jen pravděpodobně nejužívanější obecně známý vzorec:

$$C_{\text{pomocná}}[\mu\text{F}] = \frac{68}{P[\text{kW}]}, \quad (1.5)$$

kde $C_{\text{pomocná}}$ je velikost pomocné kapacity a P je výkon motoru.

Tento empirický vzorec byl v praxi prověřován a ne vždy dává relevantní výsledky. Proto je třeba jeho užití řádně zvážit a pokud ho již chceme použít, je nutností monitorovat proudy a oteplení statoru.

1.2.6 Modelový příklad provozu třífázového asynchronního motoru napájeného z jednofázové sítě s jedním pomocným kondenzátorem

Tab. 1.1: Parametry motoru testovaného s pomocným kondenzátorem, převzato z [4]

| Parametr | Hodnota |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Odpor vinutí statoru, R_s | 1,5 Ω |
| Reaktance vinutí statoru, X_s | 1,73 Ω |
| Odpor vinutí rotoru, R_r | 1,0 Ω |
| Reaktance vinutí rotoru, X_r | 1,73 Ω |
| Magnetizační reaktance, X_m | 42,4 Ω |
| Nominální skluz, s | 0,033 |
| Výkon, P | 1,5 kW |
| Jmenovitý moment, M_n | 10 Nm |
| Počet fází motoru | 3 |
| Počet pólů motoru | 4 |
| Frekvence napájecí sítě, f | 50 Hz |
| Jmenovité otáčky motoru, n | 1450 ot · min ⁻¹ |
| Napájecí napětí fázové, U_f | 220 V |

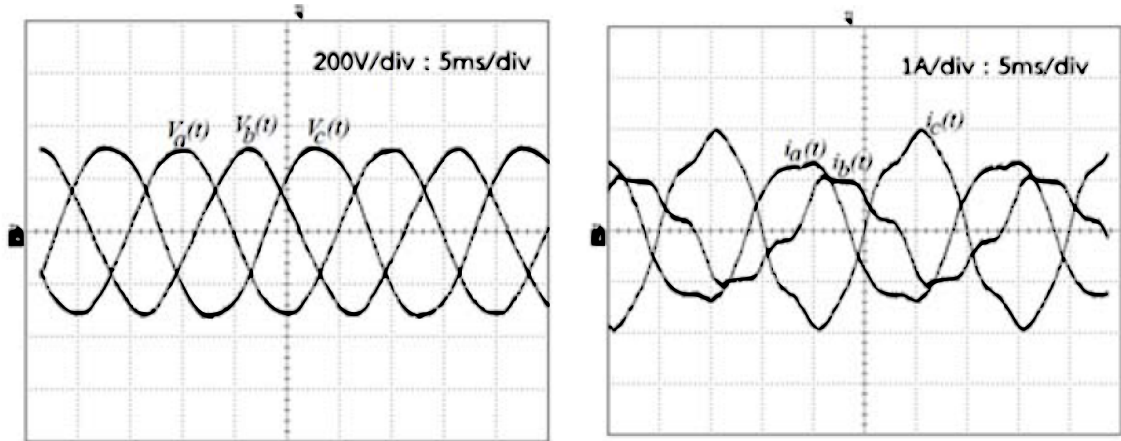
Motor popsáný v Tab. 1.1 byl podroben měření [4]. Lze empiricky určit potřebnou pomocnou kapacitu dosazením do vzorce (1.5):

$$C_{\text{pomocná}}[\mu\text{F}] = \frac{68}{P[\text{kW}]}$$

$$C_{\text{pomocná}} = \frac{68}{1,5} = 45,33 \mu\text{F} \quad (1.6)$$

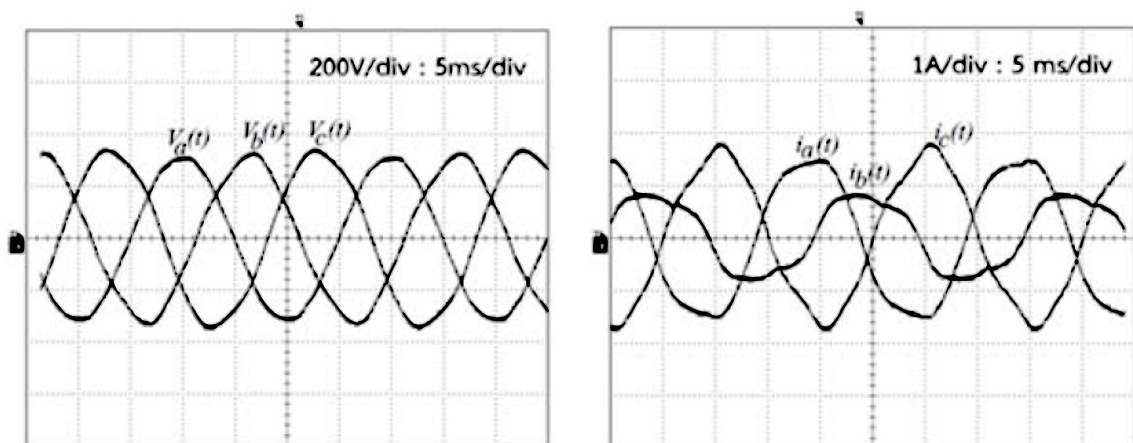
Autoři článku [4] Ch. Bumroongphuck a V. Kinnares ale byli nuceni pro výběr kondenzátoru z modelové výrobní řady, proto zvolili pro testování 3 kondenzátory s nejbližšími kapacitami, a to 40 μF , 50 μF a 60 μF . Nyní budou demonstrovány výsledky studie [4] pro uvedené kapacity pomocného kondenzátoru.

Na Obr. 1.4 jsou zobrazeny snímky z osciloskopu pro měření s pomocnou kapacitou $40 \mu\text{F}$. Napětí mají téměř nezměněné průběhy, ale průběhy proudů jsou značně deformovány od řádného třífázového průběhu. Pomocná kapacita $40 \mu\text{F}$ se tedy není příliš vhodná.



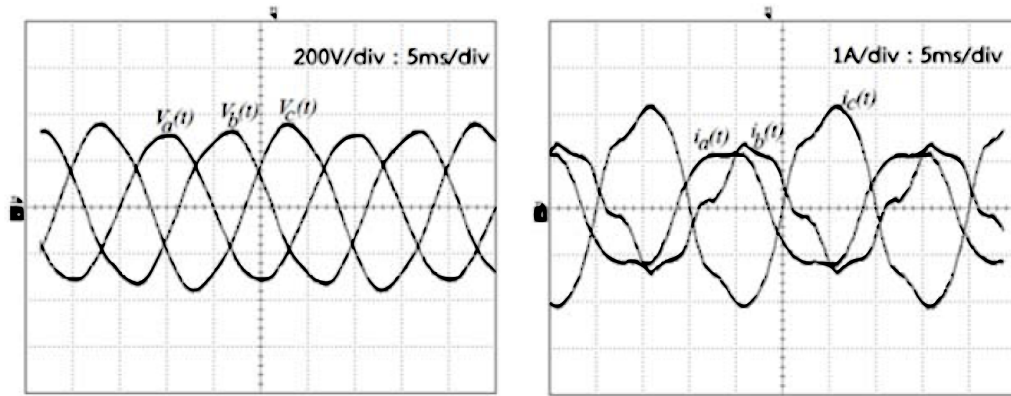
Obr. 1.4: Průběhy napětí a proudů při měření s pomocným kondenzátorem $40 \mu\text{F}$, převzato z [4] a vektorizováno. Zobrazené měřítko napětí 200 V/div , 5 ms/div a měřítko proudu 1 A/div , 5 ms/div .

Na Obr. 1.5 jsou zobrazeny snímky z osciloskopu pro měření s pomocnou kapacitou $50 \mu\text{F}$. Zde již dochází k mírné deformaci na průbězích napětí, ale průběhy proudů se z testovaných kapacit nejvíce blíží řádnému třífázovému průběhu. Tato testovaná pomocná kapacita se tedy jeví jako nejvhodnější pro danou aplikaci.

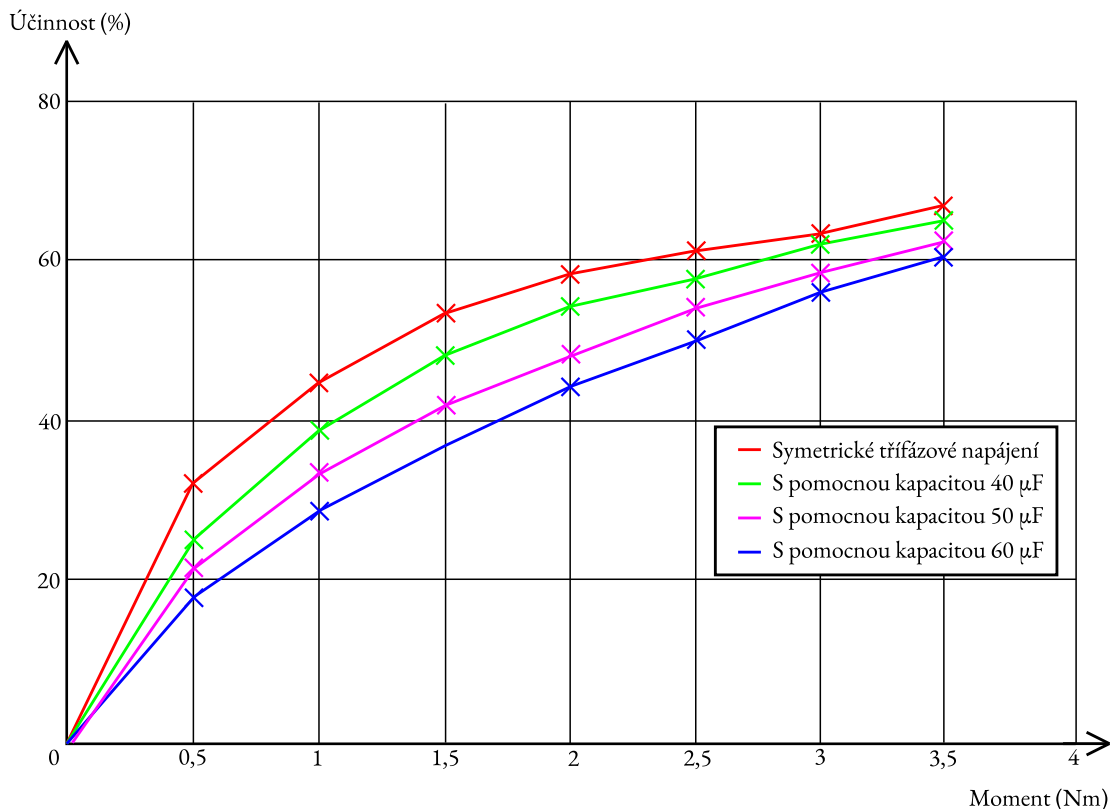


Obr. 1.5: Průběhy napětí a proudů při měření s pomocným kondenzátorem $50 \mu\text{F}$, převzato z [4] a vektorizováno. Zobrazené měřítko napětí 200 V/div , 5 ms/div a měřítko proudu 1 A/div , 5 ms/div .

Na Obr. 1.6 jsou zobrazeny snímky z osciloskopu pro měření s pomocnou kapacitou $60 \mu\text{F}$. Průběhy napětí jsou ještě o něco více deformovány na rozdíl od použité kapacity $50 \mu\text{F}$, ale průběhy proudů jsou deformovány nepříjemně. Tato pomocná kapacita vychází podle měření jako nejméně vhodná. Účinnosti třífázových asynchronních strojů s pomocnými kapacitami jsou uvedeny v grafu na Obr. 1.7.



Obr. 1.6: Průběhy napětí a proudů při měření s pomocným kondenzátorem $60 \mu\text{F}$, převzato z [4] a vektorizováno. Zobrazené měřítko napětí 200 V/div , 5 ms/div a měřítko proudu 1 A/div , 5 ms/div .



Obr. 1.7: Porovnání naměřené účinnosti s jednotlivými pomocnými kondenzátory, překresleno z [4].

Závěrem lze konstatovat, že pokud se podaří dobře zvolit hodnotu velikosti kapacity pomocného kondenzátoru, průběhy napětí, proudů a účinnost takto napájeného asynchronního stroje se velmi blíží k účinnosti při třífázovém symetrickém napájení. Z hlediska dosažení co nejvyšší účinnosti by bylo vhodné zvolit pomocný kondenzátor o kapacitě $40 \mu\text{F}$. Nicméně při této pomocné kapacitě dochází k vyšší deformaci průběhů proudů, proto se jako kompromis jeví zvolit hodnotu $50 \mu\text{F}$. Dá se tedy předpokládat, že pokud bychom chtěli zobecnit metodu volby vhodného pomocného kondenzátoru, provedeme výpočet podle vzorce (1.5) a poté zvolíme nejbližší vyšší dostupnou kapacitu z řady kondenzátorů. Pokud se ale jedná o dlouhodobější nebo na výkon náročnější aplikaci, využijeme pro napájení třífázového asynchronního motoru odpovídající měnič frekvence, což je rozebráno v části 1.3.

1.3 Řízení pomocí měniče frekvence

1.3.1 Druhy měničů frekvence

Měniče frekvence se dělí na dva základní druhy – maticové a cyklokonvertory. Cyklokonvertory jsou složeny ze tří reverzačních tyristorových usměrňovačů, které mají za úkol spínat vstupní frekvenci tak, aby byla vytvořena jiná výstupní frekvence. Tímto způsobem lze vytvořit výstupní frekvenci o velikosti až 25 % frekvence na vstupu cyklokonvertoru, proto se tyto měniče využívají pro pomaluběžné motory s velkými výkony. Maticové měniče fungují na principu spínaných tranzistorů nebo GTO tyristorů. To nám dovoluje využít možnosti odebírat vyšší výstupní frekvenci, než je frekvence vstupní. Ve většině aplikací se pro napájení asynchronních strojů využívají nepřímé frekvenční měniče se stejnosměrným (DC) napěťovým meziobvodem [9]. Proto jim v této práci bude věnována vysoká pozornost. Velké procento frekvenčních měničů funguje na principu diodového usměrňovače, který generuje stejnosměrné napětí [2]. Platí vztah:

$$U_d = \frac{3}{\pi} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{LL}. \quad (1.7)$$

Lze dosadit pro příklad $U_{LL} = 400 \text{ V}$

$$U_d = \frac{3}{\pi} \cdot \sqrt{2} \cdot 400 = 540 \text{ V}, \quad (1.8)$$

kde U_d je usměrněné napětí a U_{LL} je sdružené napětí sítě.

Z tohoto stejnosměrného napětí v meziobvodu je poté generováno nové napětí pomocí pulzní šířkové modulace (PWM). Výstupní sdružené napětí je generováno jako série pulzů mezi $+U_d$ a $-U_d$ [2].

Tyto pulzy mohou být analyzovány pomocí Fourierovy analýzy:

$$u_{LL}(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \hat{U}_{LL,k} \cdot \cos(k \cdot \omega_s t) \quad (1.9)$$

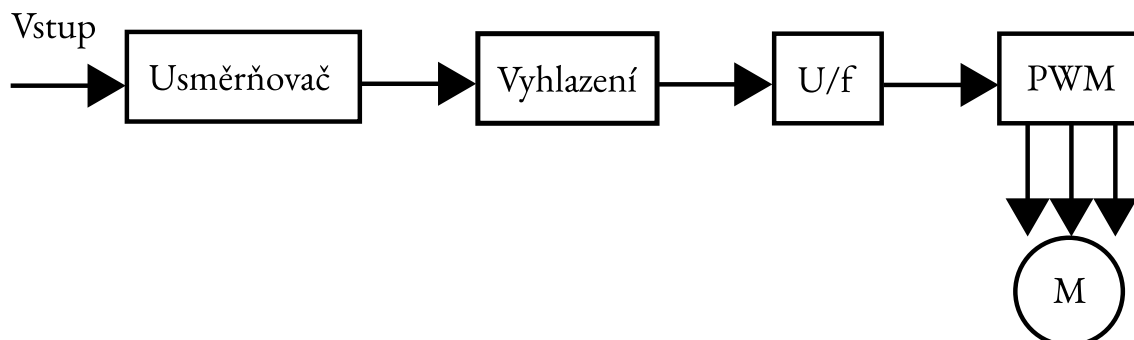
Fourierovo základní sdružené sinusové napětí $\hat{U}_{LL,k=1}$ a jemu odpovídající fázové napětí $\hat{U}_{s,k=1} = \hat{U}_{LL,k=1}/\sqrt{3}$ pro situaci, kdy je statorové vinutí zapojeno do hvězdy (Y), jsou nezbytnými předpoklady pro provoz asynchronního motoru s proměnlivou rychlostí. Vyšší časové harmonické $\hat{U}_{LL,k>1}$ způsobují zvýšení proudu motorem se zvyšující se frekvencí $f_{sk} = k \cdot f_s$, což způsobuje přídavné ztráty, pulzující točivý moment a generuje slyšitelný magnetický šum. Jestliže budou tyto parazitní jevy zanedbány, asynchronní motor s proměnlivými otáčkami je pak v [2] definován proměnným $\hat{U}_s = \hat{U}_{s,k=1}/\sqrt{2}$ a proměnlivou f_s .

1.3.2 Skalární řízení asynchronního motoru v otevřené smyčce dle křivky U/f

Nyní bude představen v praxi nejpoužívanější způsob řízení, a to skalární řízení napětí/frekvence neboli U/f . Tento způsob je využit asi u 90 % provozovaných řízených asynchronních motorů. Jeho výhodou je množnost řízení v otevřené smyčce, tj. bez zpětné vazby. Nevýhodou tohoto způsobu řízení jsou nedokonalosti v oblastech statické přesnosti regulace a dynamiky pohonu. Lze je částečně odstranit využitím zpětnovazebného PI regulátoru, což příznivě ovlivní statickou přesnost, nicméně dynamické vlastnosti se o tolik nezlepší jako u dalších druhů řízení. Princip skalárního řízení v otevřené smyčce spočívá v udržování konstantní hodnoty poměru vstupního napájecího napětí a frekvence asynchronního motoru. To lze souhrnně označit za udržování konstantního magnetického toku. V oblasti velmi nízkých frekvencí není možné udržet konstantní magnetický tok motoru, a proto je moment v této oblasti zvyšován. V oblasti vysokých kmitočtů nelze zvyšovat napětí do nekonečna, čímž dochází podle literatury [9] opět k poklesu momentu. Kromě napětovo-frekvenčního řízení existuje ještě proudovo-frekvenční řízení, které ale v praxi nedosahuje příliš vysokého uplatnění [10]. Z tohoto důvodu mu nebude v této práci věnována další pozornost. Dalším typem řízení je vektorové. To bude rozebráno v části 1.3.4. U komerčně vyráběných frekvenčních měničů lze běžně využívat různá nastavení křivek skalárního řízení, což rozšiřuje možnosti uplatnění takto regulovaného asynchronního motoru, potažmo celého pohonu. Mezi typické přístroje, u kterých se využívá řízení v otevřené smyčce, lze zařadit např. ventilátory, odstředivky, čerpadla a mísící stroje. Obecně lze konstatovat, že měniče využívající řízení v otevřené smyčce, lze aplikovat tam, kde není vyžadována stabilní rychlost při proměnlivém zatížení a rychlá odezva na řídicí podmínky. Skalární řízení v uzavřené smyčce lze matematicky popsat dle literatury [11]:

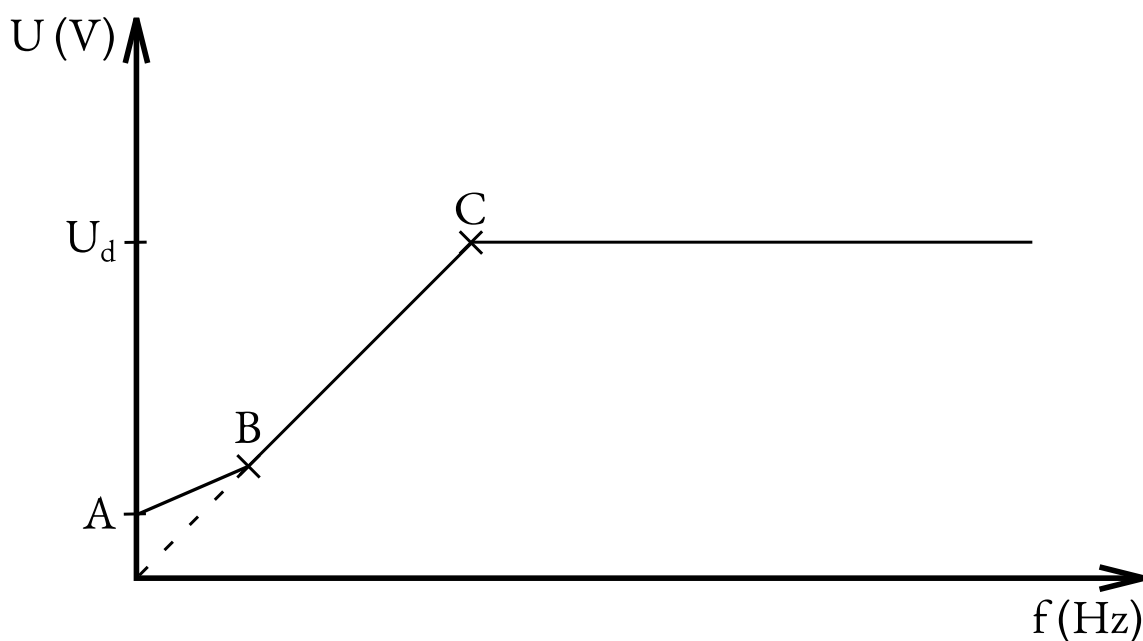
$$\Psi \approx \frac{U_i}{f}, \quad (1.10)$$

kde Ψ je sprážený magnetický tok, U_i je indukované napětí a f je frekvence. Na Obr. 1.8 je ilustrováno základní schéma regulace v otevřené smyčce.



Obr. 1.8: Ilustrace k pojmu řízení v otevřené smyčce, volně inspirováno literaturou [12].

Na Obr. 1.9 je zobrazen idealizovaný průběh regulace U/f . Na počátku, v bodě A , za předpokladu velmi nízkých kmitočtů, je, pro zlepšení rozběhových vlastností a za účelem zabránění nežádoucímu zvýšenému proudu, použito vyšší napětí tak, aby došlo ke kompenzaci satorové indukčnosti a satorového odporu vinutí. Dále, mezi body B a C , je křivka řízení lineárně stoupající. Když řízení dosáhne bodu C , již není možné výstupní napětí měniče zvyšovat, jelikož bylo právě dosaženo napětí DC meziobvodu měniče U_d . Od tohoto bodu, tj. v oblasti od bodu C dále, lze otáčky asynchronního stroje dle literatury [13] zvyšovat pouze změnou frekvence napětí.



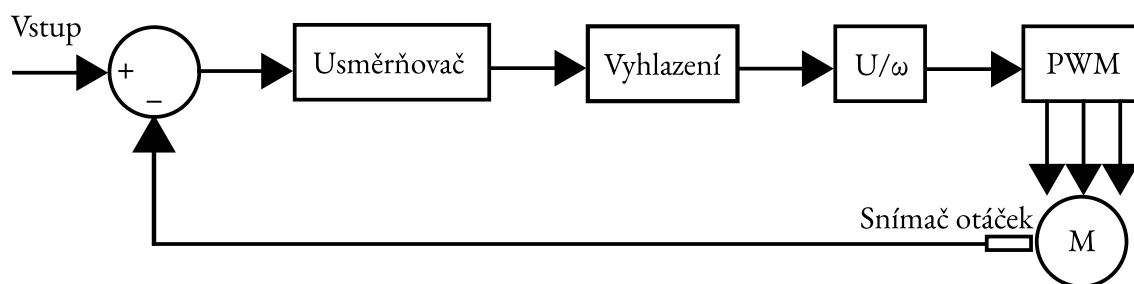
Obr. 1.9: Řízení U/f , volně překresleno podle literatury [13].

1.3.3 Skalární řízení asynchronního motoru v uzavřené smyčce

Skalární řízení asynchronního motoru v uzavřené smyčce neboli zpětnovazebné řízení využívá zpětné vazby od otáček motoru a dosahuje vysoké statické přesnosti regulace. Řízení probíhá na konstantní magnetický tok dle vzorce:

$$\Psi \approx \frac{U_i}{\omega_s}, \quad (1.11)$$

kde Ψ je sprážený magnetický tok, U_i je indukované napětí a ω_s je skluzová rychlost. Z výše uvedeného je zřejmé, že pro udržení konstantního toku je potřeba udržet konstantní poměr U_i/ω_s . V praxi bývá podle literatury [11] U_i nahrazeno statorovým napětím, které je při vyšších frekvencích svojí hodnotou velmi blízko napětí indukovanému. Princip řízení v uzavřené smyčce je ilustrován na Obr. 1.10.



Obr. 1.10: Ilustrace k pojmu řízení v uzavřené smyčce, volně inspirováno literaturou [12].

1.3.4 Vektorové řízení asynchronního motoru

Asynchronní motor dosahuje nejvyššího momentu za předpokladu, že fázový posun mezi proudem a magnetickým tokem je 90° . Tohoto jevu ale nelze dosáhnout obyčejným měničem, což bylo kompenzováno zavedením vektorového řízení. Od skalárního řízení se liší převážně tím, že se kromě amplitud vektorů magnetického toku a statorového proudu snímá i jejich vzájemný úhel. Vektorové řízení rozdělujeme na přímé a nepřímé. Přímé vektorové řízení využívá snímání napětí a proudu na statoru, z čehož se následně pomocí mikropočítače dopočítá poloha magnetického pole. Nepřímé vektorové řízení je založeno na výpočtu skluzu. Měří se rotorová rychlost, ke které je připočítána skluzová rychlost a tímto dostáváme podle literatury [11] rychlost magnetického pole.

1.3.5 Řídící technologie

Spínání PWM v měniči frekvence je dle literatury [2] obvykle realizováno pomocí tranzistorů IGBT se spínací frekvencí až 20 kHz pro nižší a okolo 500 Hz pro vyšší napěťové hladiny. Pro nejvyšší napětí jsou užívány tyristory GTO a pro nejnižší

napětíovou hladinu pod 200 V se využívá tranzistorů MOSFET se spínacími frekvencemi do 50 kHz.

1.3.6 Snímání rychlosti

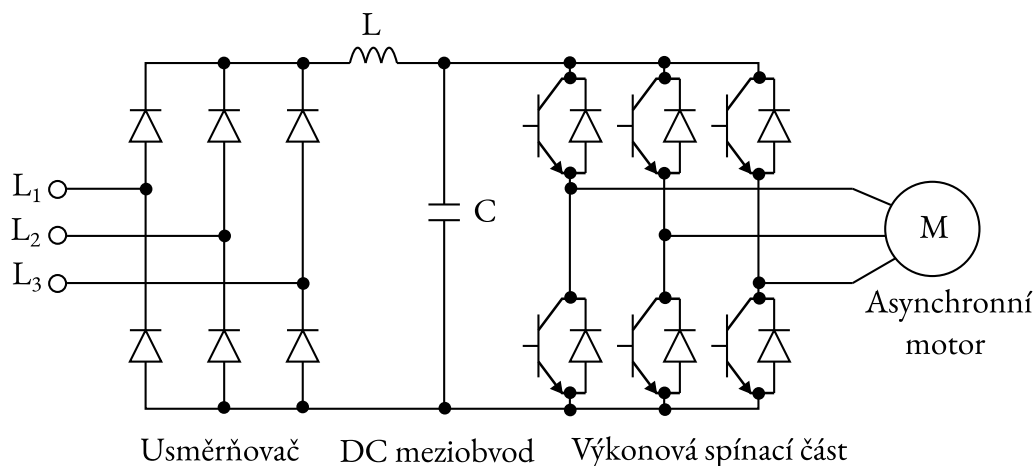
Asynchronní motory napájené z měniče frekvence mohou být provozovány bez jakéhokoliv snímače rychlosti [2]. Otáčky nejsou konstantní a mění se podle zatížení a skluzu. Při nízké frekvenci a změně zatížení může nastat kolísání otáček podobně, jako je tomu u synchronních strojů.

Dále se nabízí možnost vybavit rotor snímačem otáček, což umožní i jejich přesnější regulaci. Je možné zabudovat snímač přímo do frekvenčního měniče. Tím lze účinně zabránit změně otáček se skluzem a případným výkyvům při nízkých otáčkách. Jestliže je dobře vyřešeno řízení otáček a kroutícího momentu, pak je podle literatury [2] možné konstatovat, že dostáváme asynchronní motor reagující pružně na veškeré výkyvy.

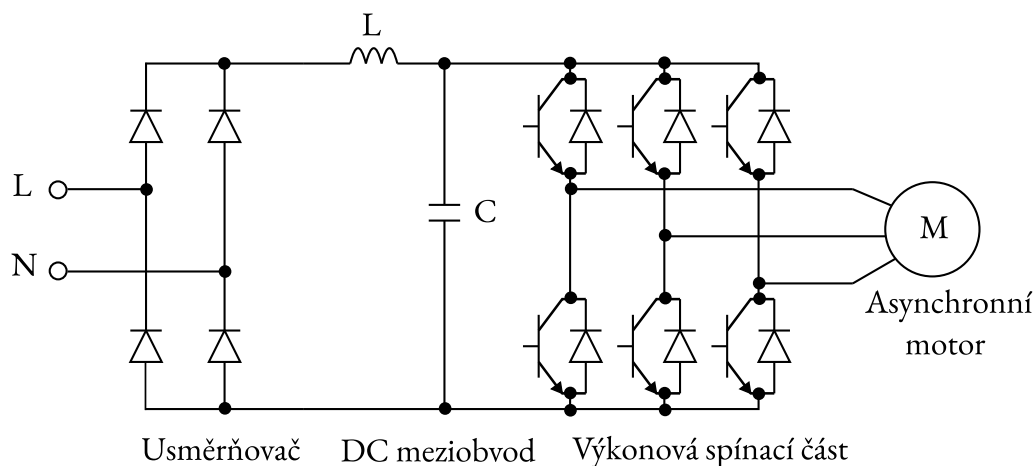
Mimo jiné je možné aplikovat i 16 bitový nebo 32 bitový mikroprocesor a využít tak výhod digitálního řízení. Při použití numerických modelů motorů nemusí být snímač rychlosti použit. Rychlost se pak vypočítává z měření napětí a proudu podle nasimulovaného matematického modelu stroje.

1.3.7 Schéma zapojení nepřímého měniče frekvence

Nyní již byl čtenář seznámen se základním principem fungování frekvenčního měniče. Níže (Obr. 1.11) je uvedeno modelové schéma zapojení nepřímého měniče frekvence napájeného třífázovou sítí. Vlevo lze pozorovat vstupní svorkovnici fází L_1 , L_2 a L_3 . Následuje šestipulsní diodový usměrňovač a stejnosměrný meziobvod s indukčností a vyhlazovacím kondenzátorem. Nakonec je v pravé části schématu vidět výkonová část obsahující 6 tranzistorů s nulovými diodami, které pomocí PWM generují střídavý vymodelovaný sinus. Tímto se pak napájí vstup asynchronního motoru. Indukčnost v stejnosměrném meziobvodu slouží k tomu, aby se ze sítě neodebíral příliš impulsní proud a kondenzátor souží k vyhlazení napětí. Společně také slouží jako filtr, aby se PWM nešířila zpětně do sítě. Spínání tranzistorů se provádí unipolárně, nebo bipolárně [14]. Toto téma bude rozebráno v následující sekci (1.3.8). Lze využít i nepřímý měnič frekvence, který je napájen z jednofázové sítě. Ten se od měniče s vstupním třífázovým napětím liší pouze tím, že se usměrňuje jednofázová síť, a proto je využit dvojpulsní usměrňovač. Jednofázový měnič frekvence je ilustrován na Obr. 1.12.



Obr. 1.11: Schéma zapojení třífázového nepřímého měniče frekvence.

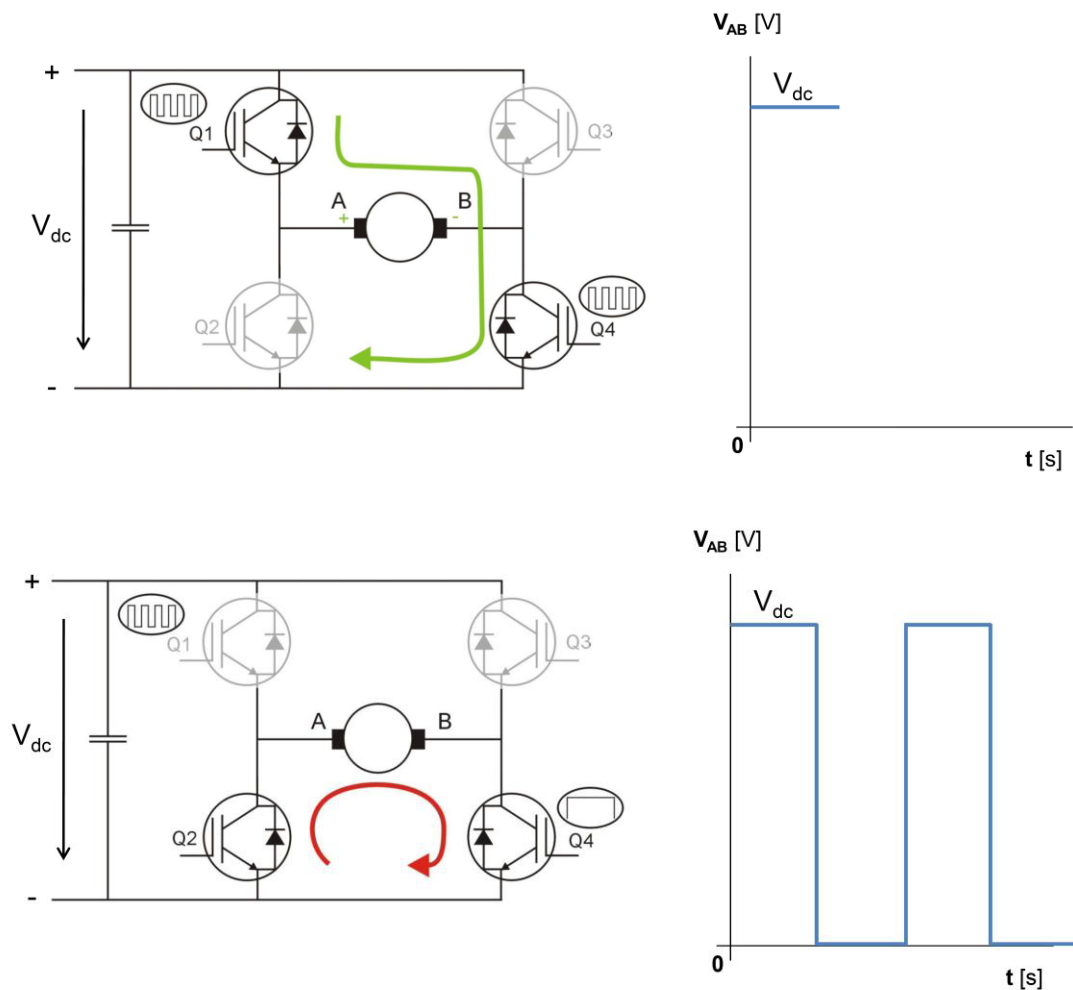


Obr. 1.12: Schéma zapojení jednofázového nepřímého měniče frekvence.

1.3.8 Řízení spínacích tranzistorů

Unipolární spínání

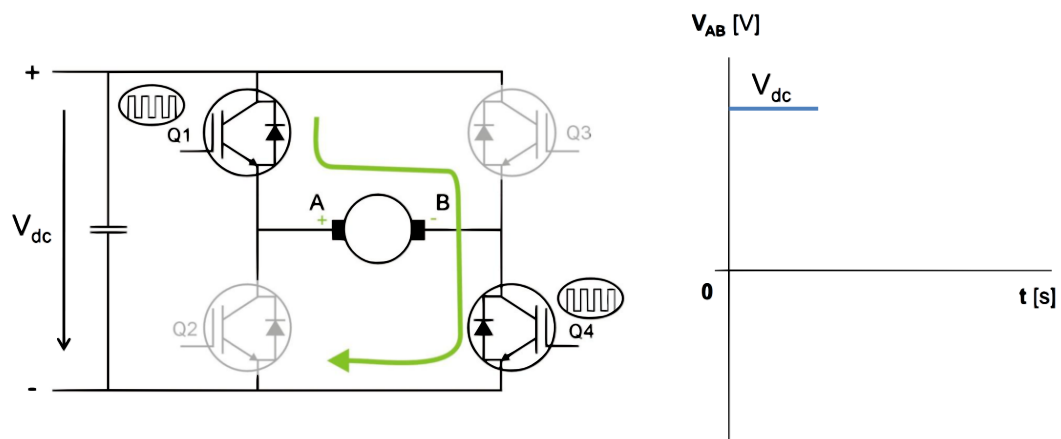
Při unipolárním spínání tranzistorů je změněn pouze stav jednoho tranzistoru v jedné fázi komutace. Díky tomu se polarita napětí nemění. Tento způsob je na realizaci nejjednodušší a také nejméně náročný na výpočetní výkon. Při unipolárním spínání se střídají dvě fáze. Fáze první, kdy je motor připojen na stejnosměrné napětí a pomocí střídavy se nastaví střední hodnota napětí, což má vliv na rychlost otáčení motoru a fáze druhá, kdy se stav tranzistorů v jedné větvi vymění. Větev, ve které dochází ke změně, se určuje na základě posouzení předešlé požadované polarity napětí na větvi připojené k motoru. To způsobí zkrat svorek motoru a vznik nulového napětí. Dle literatury [14] se tedy motor v této fázi volně dotáčí. Unipolární spínání je ilustrováno na Obr. 1.13.



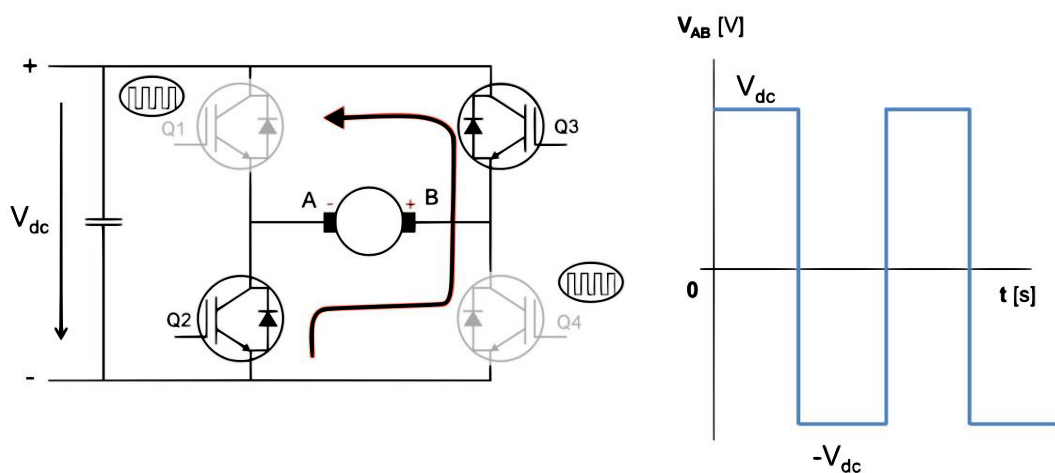
Obr. 1.13: První a druhá fáze unipolárního spínání tranzistorů pro H-můstek, převzato z [14].

Bipolární spínání

Pokud bude naše pozornost zaměřena na bipolární spínání tranzistorů, v porovnání s unipolárním spínáním dochází ke změně stavu dvou tranzistorů v každé fázi komutace, důsledkem čehož se mění polarita napětí na motoru. Výsledkem tohoto jevu je, že dochází k aktivnímu brzdění motoru, který se snaží otáčet na opačnou stranu. Díky tomu je regulace otáček rychlejší oproti unipolárnímu řízení, avšak je náročnější na výpočetní výkon. Unipolární řízení je pro svoji jednoduchost a nižší elektromagnetické emise oblíbenější, zatímco bipolární řízení je podle literatury [14] přesnější při regulaci rychlosti otáček. Bipolárnímu spínání přísluší Obr. 1.14 a 1.15.



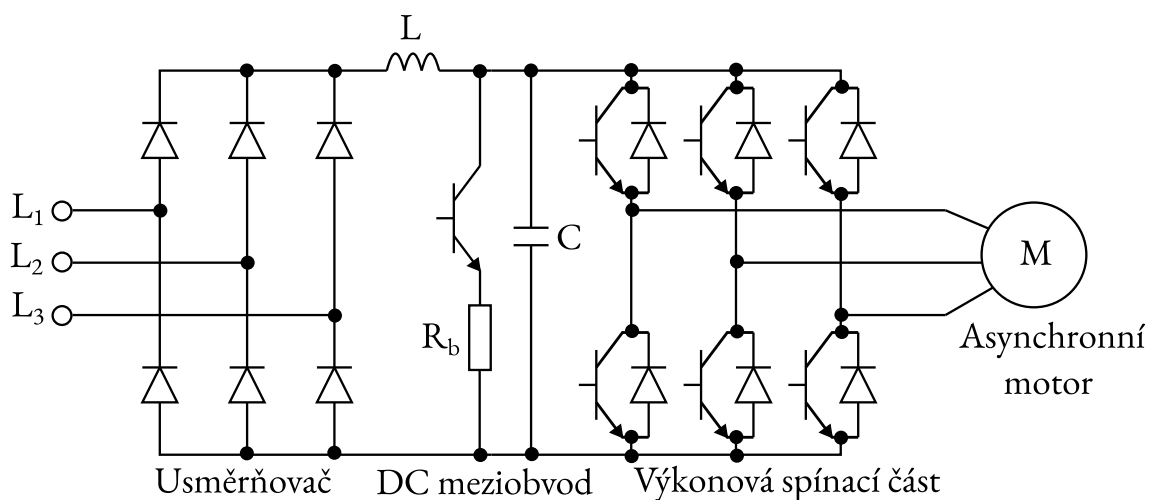
Obr. 1.14: První fáze bipolárního spínání tranzistorů pro H-můstek, převzato z [14].



Obr. 1.15: Druhá fáze bipolárního spínání tranzistorů pro H-můstek, převzato z [14].

1.3.9 Brzdění asynchronního motoru do frekvenčního měniče

P. Kovář ve své práci [9] pojednává mimo jiné i o brzdění asynchronního motoru do frekvenčního měniče. Ten umožňuje brzdění stejnosměrným napětím, ale to je využíváno primárně pro aretaci polohy rotoru. K brzdění ve smyslu zpomalování rotoru se využívá generátorické brzdění. Při něm se postupně snižuje frekvence a otáčky klesají. Pokud se brzdí výkonnější motor, dochází vlivem generované energie k přetěžování DC meziobvodu měniče. Tento problém lze účinně řešit připojením rezistoru, na kterém se nadbytečný výkon přemění na tepelnou energii. Lze také přebytečnou energii rozstřídat a vrátit zpětně do sítě. Nicméně toto řešení je již technicky a finančně náročnější, proto se uplatňuje jen u dražších měničů používaných u silných motorů. Energie vrácená do sítě je pak ochuzena o ztráty vznikající při přeměně a přenosu energií. Schéma zapojení s brzdícím rezistorem je uvedeno na Obr. 1.16



Obr. 1.16: Schéma zapojení třífázového nepřímého měniče frekvence s brzdným odporem.

2 Vliv harmonických měniče frekvence na parametry motoru

Vznik harmonických je poměrně složitá problematika. Je obtížné kvantitativně popsat magnetické pole v točivém stroji. To je způsobeno tím, že se na tvorbě magnetického pole podílí vícero vinutí, magnetické pole je při pohybu rotoru proměnné, jeho tvar, zvláště pak tvar vzduchové mezery, jsou také proměnlivé a vinutí mají různá uspořádání. Taktéž materiály v magnetickém obvodu nemají lineární vlastnosti [15]. Dle [16] mohou mít harmonické ve vinutí vliv na provozní vlastnosti asynchronního stroje.

Při teoretickém popisu stroje jsou pak užívána různá zjednodušení. Patří sem například předpoklady, že magnetické pole se dělí na magnetické pole ve vzduchové mezeře a pole rozptylové, pohybem rotoru je ovlivňováno pouze pole ve vzduchové mezeře, magnetická pole v celém obvodu jsou považovány za homogenní, je zanedbáván vliv drážkování, je uvažována nekonečná permeabilita železa a je linearizována závislost $B=f(H)$. Také časový a prostorový průběh elektrických a magnetických veličin není čistě sinusový [15].

Harmonické působí na chod elektrických strojů většinou negativně, proto je snahou je eliminovat. Podle literatury [15] rozlišujeme celou řadu harmonických, například prostorové, stupňové, drážkové, diferenční a časové. Předmětem studia v této práci je pouze postihnout tematiku časových harmonických pojících se s asynchronním motorem napájeným z měniče frekvence. Ostatními harmonickými se nebude nadále autor této práce zabývat.

2.1 Časové harmonické

Měniče používané k napájení asynchronních motorů mají i své nevýhody a omezení v použití. Pokud bude naše pozornost zaměřena na frekvenční měnič, který, pro svoji jednoduchost a relativně kvalitní přeměnu energie, nachází velmi široké využití, je nutné na základě [15] zmínit i to, že na jeho vstupu nemusí být vždy čistě sinusové napájení.

Ani přes veškerou snahu energetiků neposkytují současné rozvodné sítě vždy konstantní frekvenci a čistě sinusové napětí. V čase dochází k malým frekvenčním výkyvům a odchylkám od ideálního sinusového průběhu. Takto modifikovaným napětím pak jsou napájeny frekvenční měniče. V průmyslových podnicích může docházet v rámci elektrických sítí k ještě větším odchylkám, a to zejména při připojování a odpojování strojů se silnými elektromotory. V napětí lze pozorovat nejčastěji liché harmonické, tj. 3., 5., 7., Nesinusové napájení se na motoru projevuje vznikem parazitních momentů, hluku, vibrací, zvýšením napěťového namáhání izolantů a zvýšení ztrát při přeměnách a přenosu energií. Harmonické mohou také negativně ovlivnit skluz asynchronního motoru. Na rozložení a velikost harmonických napětí a proudu má podstatný vliv konstrukce použitého měniče. Napěťové měniče mají výstup obdélníkový nebo pulsní, je zde tedy přítomno množství harmonických u křivky napětí. U proudových měničů je průběh proudu na výstupu buď obdélníkový nebo lichoběžníkový a napětí se zde velmi blíží tvaru ideální sinusovky s komutačními špičkami. Cyklokonvertor jako generátor nízkých frekvencí produkuje sinusové napětí i proudy s relativně menším obsahem harmonických. Je zřejmé, že se u něj negativní jevy zmíněné výše projeví méně než u měničů s DC meziobvodem. Dle literatury [15] lze konstatovat, že výsledný obsah harmonických měničů závisí na tom, jaký je vztah hodnoty požadované na jejich výstupu k hodnotě na vstupu.

Snahou konstruktérů je co nejvíce omezit nebo ideálně úplně potlačit vliv časových harmonických napětí a proudů. Toho lze docílit vhodným zapojením a volbou měniče. Dále platí, že síťové harmonické mohou být odfiltrovány. Harmonické pole rotoru a statoru spolu vzájemně působí a podle literatury [15] vytvářejí kladné i záporné točivé momenty, které se dělí na asynchronní, synchronní a vibrační.

2.1.1 Asynchronní momenty

Každá harmonická statoru vytváří spolu s harmonickou rotoru parazitní asynchronní moment. Mechanismus vzniku momentu je obdobný jako u žádaného momentu, který je vytvářen ze základní harmonické magnetického toku statoru společně se základní harmonickou z magnetického toku rotoru. Výsledný moment je pak dán součtem momentu vzniklého z první harmonické a nežádoucích momentů vzniklých z vyšších harmonických. Prakticky významné jsou pouze momenty vzniklé z vyšších harmonických, které jsou silně zastoupené, tj. např.

5. a 7. harmonické. Účinkům harmonických je nutno předcházet a co nejvíce eliminovat následky. Pokud dojde např. k tomu, že zátěžový moment protne momentovou charakteristiku asynchronního stroje v oblasti sedla, dojde k významnému navýšení skluzu, prudkému snížení otáček a v důsledku toho i zvýšení velikosti protékajícího proudu. Asynchronní stroj by takto mohl být lehce zničen z důvodu proudového přetížení. V praxi se uplatňuje postup, kdy se předchází vhodnou konstrukcí vzniku harmonických již při návrhu stroje. Jako nejúčinnější se jeví potlačit 5. a 7. harmonickou zkrácením kroku vinutí. Asynchronní momenty vzniklé od 11., 13. a vyšších harmonických je možno potlačit vhodnou volbou vzájemného počtu drážek na statoru a rotoru. Dle literatury [15] má být počet drážek rotoru roven:

$$Q_2 = 1,25 \cdot Q_1, \quad (2.1)$$

kde Q_2 je počet drážek rotoru a Q_1 je počet drážek statoru.

2.1.2 Synchronní momenty

Za předpokladu určitých otáček rotoru se mohou jednotlivé harmonické zubového pole statoru otáčet stejně rychle jako harmonické zubového pole rotoru. Jejich vzájemným působením vznikají synchronní momenty. Jsou vytvářeny zejména v důsledku zubových harmonických polí a projevují se jen při určitých otáčkách odpovídajících synchronnímu otáčení určitých harmonických. Zvlášť výrazně se podle literatury [15] projeví za předpokladů:

$$Q_1 = Q_2 \quad (2.2)$$

$$Q_1 = Q_2 \pm 2 \cdot p, \quad (2.3)$$

kde Q_2 je počet drážek rotoru, Q_1 je počet drážek statoru a p je počet pólových dvojic.

Dle vztahů (2.2) a (2.3) mohou být vibrace účelně potlačeny správnou volbou počtu drážek statoru a rotoru nebo natočením drážek. Zvláštní případ synchronního momentu popisuje [15]. Při $n = 0$ nastává jev zvaný „lepení rotoru“, který znemožní rozběh motoru.

2.1.3 Vibrační momenty

Harmonické magnetické pole se neprojevuje pouze při synchronních otáčkách, ale v celém jejich rozsahu a vyvolává periodicky měnící se točivé momenty působící po dobu jedné půlperiody jedním směrem a po dobu druhé půlperiody směrem druhým, což způsobuje vibrace na rotoru a dalších částech stroje. Při nevhodně zvoleném poměru

drážek mohou vznikat i radiální síly, které se přemisťují při otáčení stroje podél obvodu vzduchové mezery, což též způsobuje nežádoucí vibrace. Vibrační momenty se dle literatury [15] projevují obzvláště silně při předpokladech:

$$Q_1 - Q_2 = \pm 1 \pm 2p \quad (2.4)$$

nebo

$$Q_1 - Q_2 = \pm 2 \pm 4p, \quad (2.5)$$

kde kde Q_2 je počet drážek rotoru, Q_1 je počet drážek statoru a p je počet pólových dvojic.

2.1.4 Hluk při činnosti asynchronního stroje

Asynchronní stroj může produkovat hluk, který ve své práci [15] popisuje K. Chmelík, hned z několika důvodů. Jedná se zejména o mechanické problémy, ze kterých lze jmenovat např. špatný stav ložisek nebo nevyváženost rotoru. Dalším podstatným původcem akustických problémů může být také harmonické magnetické pole, které vyvolává magnetický hluk. Zde se jedná o kmitání magnetických částí stroje kmitajících ve střídavém magnetickém poli. Tento jev může být ještě umocněn, pokud se vzniklé vlnění vyskytne v blízkosti a nebo přímo v mechanickém rezonančním kmitočtu.

3 Norma IEC 60034-2-3

V této kapitole budou popisovány specifické zkušební metody určování ztrát a účinností střídavých motorů napájených z měničů dle normy IEC 60034-2-3.

Nejprve je potřeba diskutovat pojem „Porovnatelný měnič“, který je v [17] definován jako měnič, u kterého se přídavné vysokofrekvenční ztráty obecně příliš nezvyšují se stoupajícím zatížením. Porovnatelný měnič si lze představit jako napěťový zdroj s typickým obsahem vysokých harmonických kmitočtů, který slouží k napájení zkoušených strojů. Pokud je předpokládán provoz motoru poháněného víceúrovňovým napěťovým nebo proudovým měničem, jsou očekávány výraznější přídavné vysokofrekvenční ztráty v závislosti na otáčkách a zatížení než u dvojúrovňových napěťových měničů. V tomto případě má být upřednostňováno měření pohonu jako celku se stejným měničem, který je určen pro jeho napájení v provozu.

3.1 Ztráty asynchronního motoru při napájení z měniče

Pokud je asynchronní motor napájen z měniče frekvence, celkové ztráty [17] jsou složeny ze dvou složek, a to ztrát způsobených základním kmitočtem a ztrát způsobených vysokými kmitočty měniče.

3.1.1 Základní ztráty

Základní ztráty v motoru mohou být dle literatury [17] rozděleny do pěti složek:

1. Ztráty v železe (závislé na kmitočtu motoru a napájecím napětí)
2. Ztráty třecí a ventilační (závislé na otáčkách motoru)
3. Ztráty ve vinutí statoru (proměnlivé s proudem motoru)
4. Ztráty ve vinutí rotoru (proměnlivé s proudem motoru)
5. Přídavné ztráty při zatížení (proměnlivé s proudem motoru).

Základní ztráty jsou tedy definovány v [17] jako ztráty motoru v chodu s přiloženým jmenovitým napětím při základním kmitočtu, které neobsahuje žádné další vysoké kmitočty.

3.1.2 Přídavné vysokofrekvenční ztráty

Přídavné vysokofrekvenční ztráty jsou dle literatury [17] v asynchronním motoru vytvářeny nesinusovým tvarem průběhu proudu a napětí, které jsou vytvářeny měničem kmitočtu. Představují doplňující ztráty ke ztrátám v železe, ventilačním a třecím ztrátám, ztrátám ve vinutích statoru a rotoru a k přídavným ztrátám při zatížení.

3.2 Další termíny z normy IEC 60034-2-3

3.2.1 Základní rozsah otáček

Základním rozsahem otáček se podle literatury [17] rozumí rozsah z klidového stavu až do otáček nejvyšších. Motor je přitom napájen napětím, které je měněno úměrně otáčkám tak, aby zůstal konstantní magnetický tok (konstantní poměr U/f). Toto tvrzení platí pro asynchronní motory.

3.2.2 Spínací kmitočet

Spínací kmitočet je v [17] definován jako počet sepnutí jednoho polovodiče za dobu jedné sekundy.

3.3 Základní informace o měření

3.3.1 Obecně

Není-li uvedeno jinak, musí být užito aritmetického průměru tří hodnot síťového napětí a proudu. Dále má být v každém pracovním bodě snímán digitálním měřidlem

velký počet hodnot po dobu minimálně 15 s. Volba měřicího přístroje musí být provedena dle obecných zvyklostí, a to zejména s ohledem na rozsah stupnice měřicího přístroje vzhledem k měřené hodnotě. Norma IEC 60034-2-3 [17] dále popisuje, že k měření teploty může být volitelně použit snímač teploty instalovaný na nejteplejším místě (tzv. hot spot), což je popsáno v IEC 60034-2-1:2014.

3.3.2 Analyzátor výkonu a převodník

V základu musí vybavení pro měření splňovat požadavky dle IEC 60034-2-1:2014 [17]. Kromě toho musí dále splňovat také udanou nejistotu wattmetrů 0,2 % ze jmenovitého zdánlivého výkonu motoru, nebo vyšší, pro celkový činný výkon, a to při 50 Hz nebo 60 Hz. Jde o celkovou nejistotu wattmetru včetně případných snímačů. Též musí být zvolena dostatečná šířka pásma snímačů a wattmetrů. Norma IEC 60034-2-3 [17] obecně za dostatečnou šířku pásma považuje kmitočet od 0 Hz do desetinásobku spínací frekvence.

Pro měření výkonu je podle literatury [17] upřednostňována metoda 3 wattmetrů. Veškeré kabely přenášející měřený výkon musí být stíněny. Stínění kabelů nesmí být vedeno přes převodníky proudu. Napětí musí být měřeno na svorkách motoru vhodným digitálním analyzátozem s vhodným softwarem a FFT.

3.3.3 Mechanický výkon motoru

Dále je v [17] uvedeno, že přístroje užívané k měření napájecího kmitočtu musí mít přesnost $\pm 0,1\%$ z plného rozsahu. Měření otáček má být provedeno s přesností do 0,1 otáčky za minutu u otáček do $3\ 000\ \text{min}^{-1}$ a 0,03 % pro vyšší otáčky. Přístroje užívané pro měření točivého momentu musí mít minimální třídu přesnosti 0,2, když se předpokládá jmenovitá účinnost pod 92 % a 0,1 pro účinnost pod 95 % a 0,05 nebo lepší pro vyšší účinnosti. Minimální naměřený točivý moment musí činit alespoň 10 % jmenovitého momentu užívaného měřicího zařízení.

3.3.4 Zkušební metody pro určení účinnosti motorů napájených z měničů

Dle normy IEC 60034-2-3 je nutno použít pro měření jmenovité účinnosti deklarované výrobcem metodu označovanou v literatuře [17] „Přímě měření vstup - výstup“.

Nyní bude popsána pouze výše zmiňovaná metoda. Kromě ní existují ještě další zkušební metody označované v literatuře [17] jako 2-3-B, 2-3-C a 2-3-D, nicméně těmi se autor tohoto textu nebude dále zabývat, jelikož jsou považovány za alternativní a mají úzké omezení použití.

3.4 Metoda 2-3-A – Přímé měření vstupu a výstupu

Metoda popisovaná v literatuře [17] spočívá ve stanovení mechanického výkonu stroje P_{2c} pomocí měření točivého momentu na hřídeli a otáček. Elektrický příkon stroje P_{1c} je měřen při stejné zkoušce.

3.4.1 Zkušební postup

Zkoušky musí být prováděny dle literatury [17] se všemi komponenty na svém místě, se zkompleťovaným motorem s měničem. Dalším krokem je kontrola nuly zařízení pro měření točivého momentu dle IEC 60034-2-1:2014. Zkoušený motor je poté provozován při jmenovitém točivém momentu a otáčkách až do dosažení ustálené teploty. To v praxi znamená do doby, než je rychlost vzrůstu teploty rovna nebo menší než 1 K za půl hodiny. Na konci oteplovací zkoušky se zaznamenají: výstupní točivý moment T_c , otáčky n a příkon motoru P_{1c} . Po zastavení stroje je opět nutno zkontrolovat posun nuly zařízení měřícího točivý moment. Pokud se provádí více měření, nula se koriguje až po posledním měření. Na závěr je potřeba případný posun nuly zohlednit v měření točivého momentu.

3.4.2 Určení účinnosti

Postup pro určení účinnosti je podle literatury [17] následující.

1. Výpočet výkonu:

$$P_{2c} = 2\pi \cdot T_c \cdot n, \quad (3.1)$$

kde T_c je výstupní točivý moment a n jsou otáčky.

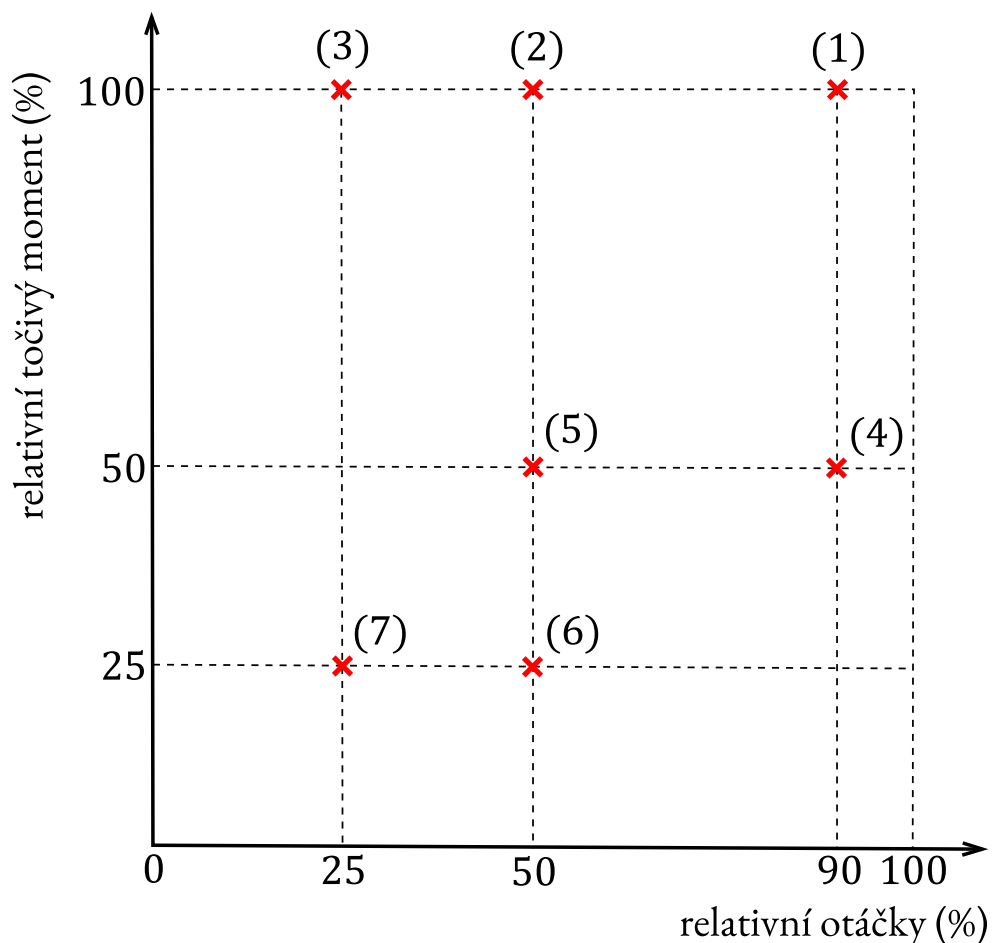
2. Výpočet účinnosti:

$$\eta = \frac{P_{2c}}{P_{1c}}, \quad (3.2)$$

kde P_{1c} je příkon motoru a P_{2c} je mechanický výkon motoru.

3.4.3 Měření v 7 normalizovaných bodech

Stroj je zatěžován v 7 normalizovaných zatěžovacích bodech viz Tab. 3.1 dle literatury [17]. První zatěžovací bod musí být měřen po dosažení ustálené teploty (viz 3.4.1). Měření následujících pracovních bodů musí následovat bezprostředně a co nejrychleji po měření pracovního bodu 1. Je tak činěno za účelem minimalizace změn teplot ve stroji při zkoušení. Pracovní body jsou měřeny v pořadí: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 nebo alternativně: 1, 4, 2, 5, 6, 3, 7. Před zaznamenáním příkonu musí být každý ze sedmi zatěžovacích bodů stanoven s přesností $\pm 1\%$ jmenovitých otáček a $\pm 1\%$ jmenovitého točivého momentu. Z laboratorní praxe je známo, že je třeba každý zatěžovací bod měřit alespoň 15 s. Bezprostředně po konci měření normalizovaných bodů je opět nutno zkontrolovat posun nuly zařízení pro měření točivého momentu a provést případnou korekci měřených hodnot. Grafické vyjádření normalizovaných pracovních bodů je uvedeno na Obr. 3.1.



Obr. 3.1: Grafické znázornění normativních pracovních bodů, volně překresleno z literatury [17].

Tab. 3.1: Normativní pracovní body

| Pracovní bod číslo | n [% otáček] | T [% momentu] | P [%] |
|--------------------|----------------|-----------------|---------|
| P_1 | 0,9 | 1 | 0,9 |
| P_2 | 0,5 | 1 | 0,5 |
| P_3 | 0,25 | 1 | 0,25 |
| P_4 | 0,9 | 0,5 | 0,45 |
| P_5 | 0,5 | 0,5 | 0,25 |
| P_6 | 0,5 | 0,25 | 0,125 |
| P_7 | 0,25 | 0,25 | 0,0625 |

3.4.4 Přídavné ztráty v důsledku poklesu napětí na měniči kmitočtu

Na měniči kmitočtu obvykle dochází k úbytku napětí [17], což znamená, že jeho výstupní napětí pro motor je nižší než jeho vstupní napětí ze sítě. Je-li pak takový motor napájen z měniče kmitočtu a je konstruován na napájení jmenovitým napětím sítě, jsou ztráty v motoru vyšší v důsledku zvýšeného proudu motoru. Tomuto jevu je zamezeno prováděním zkoušek při max 90 % jmenovitých otáček dle Tab. 3.1.

4 Měření

Inspirace k měření a porovnání vlivu napěťové varianty měniče kmitočtu na parametry asynchronního motoru vzešla z nápadu Ing. Petra Fialy a Ing. Iva Tkáče z průmyslové firmy Siemens Elektromotory Mohelnice, která s dlouholetou tradicí produkuje asynchronní elektromotory. Mateřská firma Siemens AG je konglomerátní společností, která patří mezi největší výrobce elektroniky na světě.

Díky úspěšně navázané spolupráci byla proměřena soustava třífázový a jednofázový měnič frekvence (řada Siemens G120 o výkonu 1,1 kW) v kombinaci s asynchronním motorem (řada Siemens 1LE, osová výška 80 mm, čtyřpólové provedení o nominálním výkonu 0,75 kW) za účelem vyšetření elektrických parametrů a oteplení elektromotoru v závislosti na napájení z jednofázového a třífázového měniče frekvence v definovaných pracovních bodech. Výsledky zmiňované studie jsou prezentovány v kapitole Vyhodnocení naměřených dat.

Samotnému měření předcházela spousta příprav. Na několika konzultacích byly s Ing. Fialou diskutovány předpoklady pro úspěšné zvládnutí tématu. K měření byl vybrán prototypový asynchronní motor výrobce Siemens Elektromotory Mohelnice typ 1AV3083B s evidenčním číslem prototypu PKP 9549, jehož parametry jsou uvedeny v Tab. 4.1. Jeho velkou výhodou je relativně malá velikost, tím pádem snadná manipulace a hlavně přítomnost termistorů osazených hned v několika místech.

Tab. 4.1: Parametry měřeného motoru, převzato z [18]

| Parametr | Hodnota |
|---|-----------------------------|
| Průměrný odpor vinutí statoru za studena při 20° C, R_s | 5,0 Ω |
| Průměrný odpor vinutí statoru po oteplovací zkoušce, R_{sh} | 5,57 Ω |
| Nominální skluz, s | 0,033 |
| Výkon, P | 0,75 kW |
| Jmenovitý moment, M_n | 4,93 Nm |
| Počet fází motoru | 3 |
| Počet pólů motoru | 4 |
| Frekvence napájecí sítě, f | 50 Hz |
| Jmenovité otáčky motoru, n | 1450 ot · min ⁻¹ |
| Napájecí napětí fázové, U_f | 230 V |
| Jmenovitý proud, I_n | 3,05 A |
| Power factor, PF | 0,75 |
| Účinnost, η | 82,5 % |
| Možnosti zapojení vinutí statoru | D, Y |
| Teplotní třída | F |
| Typ konstrukce | IMB3 |
| Krytí | IP55 |
| Osová výška | 80 mm |
| Sériové číslo | 2021/9549 |
| Maximální teplota okolí | 40 °C |

Přehled termistorů, oblast jejich osazení a měřená teplota, jsou uvedeny v Tab. 4.2.

Tab. 4.2: Přehled termistorů, převzato z [18]

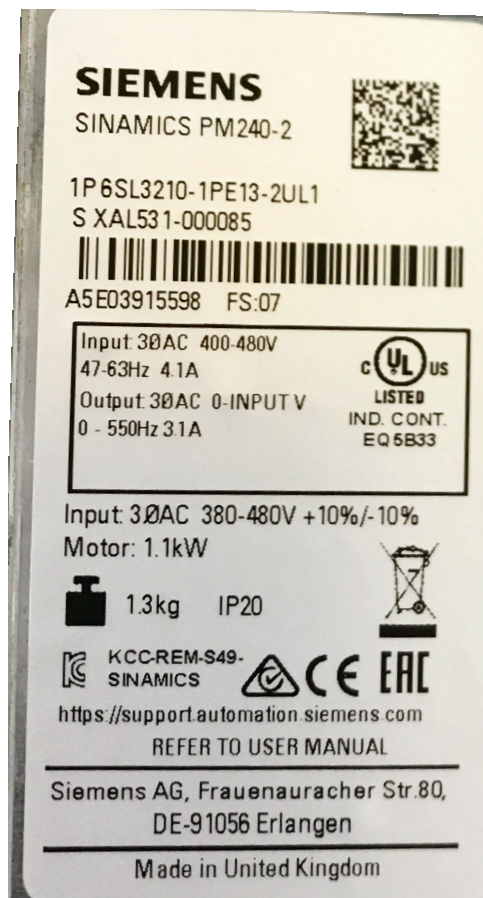
| Oblast měření teploty | Číslo termistoru | Číslo měřené teploty |
|---------------------------------|------------------|----------------------|
| Čelo vinutí fáze U | TC01 | T01 |
| Čelo vinutí fáze V | TC02 | T02 |
| Čelo vinutí fáze W | TC03 | T03 |
| Kostra u volného konce hřídele | TC04 | T04 |
| Kostra střed | TC05 | T05 |
| Kostra u ventilátoru | TC06 | T06 |
| Štít poblíž ložiskového kroužku | TC07 | T07 |
| Teplota okolí 1 | TC08 | Tamb1 |
| Teplota okolí 2 | TC09 | Tamb2 |

V Tab. 4.3 jsou uvedeny parametry použitého 3f měniče kmitočtu.

Tab. 4.3: Parametry 3f měniče, převzato z [19] [20] [21]

| Parametr | Hodnota |
|---------------------------|-----------------------|
| Typ | Sinamics G120 PM240-2 |
| Order number | 6SL3210-1PB15-5UL0 |
| Řídící jednotka | CU 250S-2 PN (1) |
| Výkon, P | 1,1 kW |
| Vstupní napětí, U | 380 - 480 V |
| Výstupní napětí, U | 0 - 480 V |
| Vstupní proud, I_{in} | 4,1 A |
| Výstupní proud, I_{out} | 3,1 A |
| Krytí | IP20 |

Na Obr. 4.1 je fotografie štítku 3f měniče kmitočtu. Za povšimnutí stojí země výroby - Velká Británie. Jak je vidět, moderní pohony se často skládají z komponentů vyrobených v několika zemích světa.



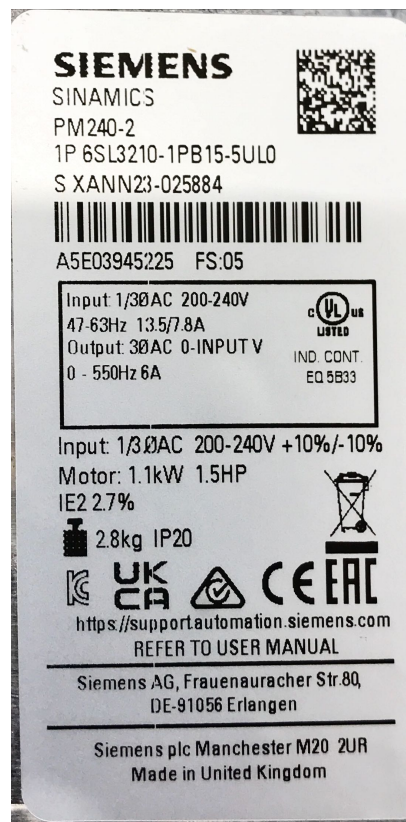
Obr. 4.1: Štítek 3f měniče kmitočtu, autorská fotografie.

V následující Tab. 4.4 jsou uvedeny parametry použitého 1f měniče kmitočtu.

Tab. 4.4: Parametry 1f měniče, převzato z [18] [21]

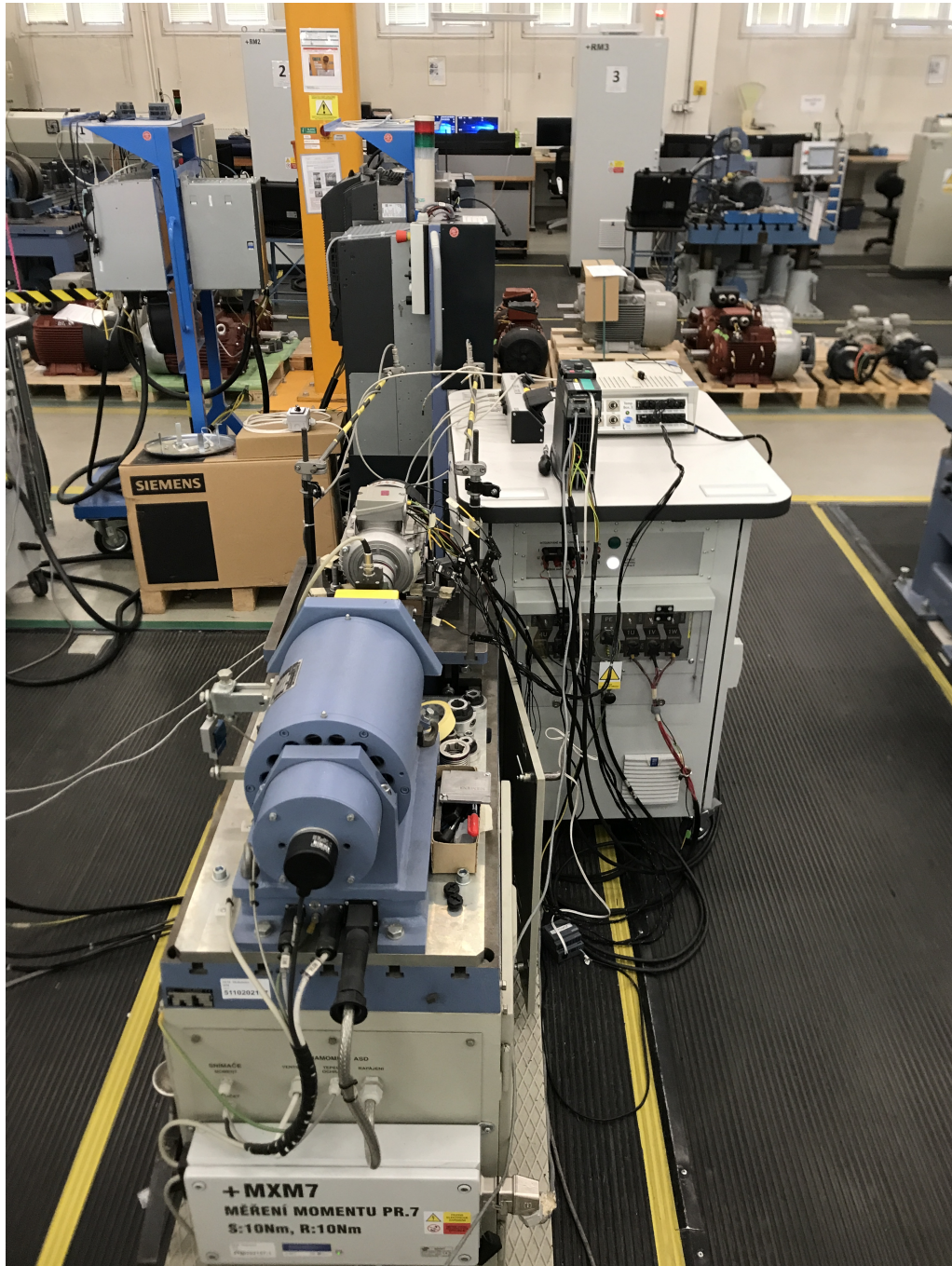
| Parametr | Hodnota |
|---------------------------|-----------------------|
| Typ | Sinamics G120 PM240-2 |
| Order number | 6SL3210-1PB15-5UL0 |
| Řídící jednotka | CU 250S-2 PN (1) |
| Výkon, P | 1,1 kW |
| Vstupní napětí, U | 200 - 240 V |
| Výstupní napětí, U | 0 - 240 V |
| Vstupní proud, I_{in} | 13,5 A |
| Výstupní proud, I_{out} | 6 A |
| Krytí | IP20 |

Na Obr. 4.2 je fotografie štítku 1f měniče kmitočtu, který byl objednan na zakázku přímo pro toto měření z Velké Británie. Požadavek na dodání byl vznesen již v září roku 2021 v době, kdy byl velký problém s nedostatkem komponentů pro stavbu výkonové elektroniky. Samotné dodání se podařilo zrealizovat až koncem ledna 2022 po cca 4 měsících.



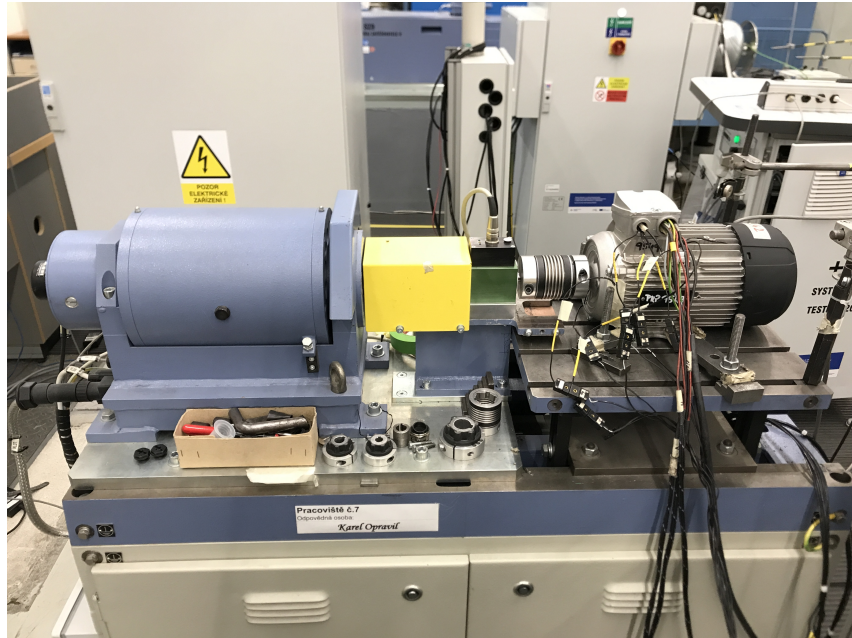
Obr. 4.2: Štítek 1f měniče kmitočtu, autorská fotografie.

Měření bylo provedeno ve zkušebně Siemens Elektromotory Mohelnice pod dozorem Ing. Petra Fialy na měřicím stole s vybavením viz Seznam měřicích zařízení uvedených v protokolech o měření [19], [20] a [18]. Foto měřicího stolu je zdokumentováno níže viz Obr. 4.3. V popředí je vidět dynamometr pro měření momentu následovaný měřeným motorem. V pozadí se nachází měřicí věž s dvojicí wattmetrů. Na ní leží měnič frekvence a temp box pro měření teplot napojený na termistory.

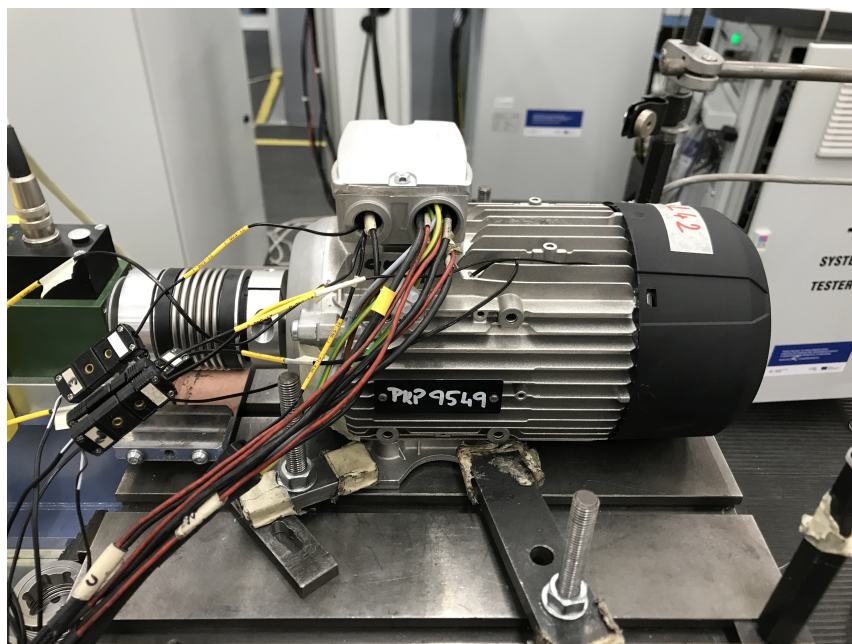


Obr. 4.3: Fotodokumentace měřicího stolu s motorem a dynamometrem, autorská fotografie.

Na Obr. 4.4 je zobrazen detail měřicího stolu a dynamometru. Na hřídeli motoru je nasunuta spojka za účelem přenosu momentu mezi motorem a dynamometrem. Celá soustava musela být pečlivě vycentrována, aby nedocházelo k nežádoucím vibracím. V Obr. 4.5 jsou vidět vývody termistorů s příslušnými spojkami a další vodiče k motoru.

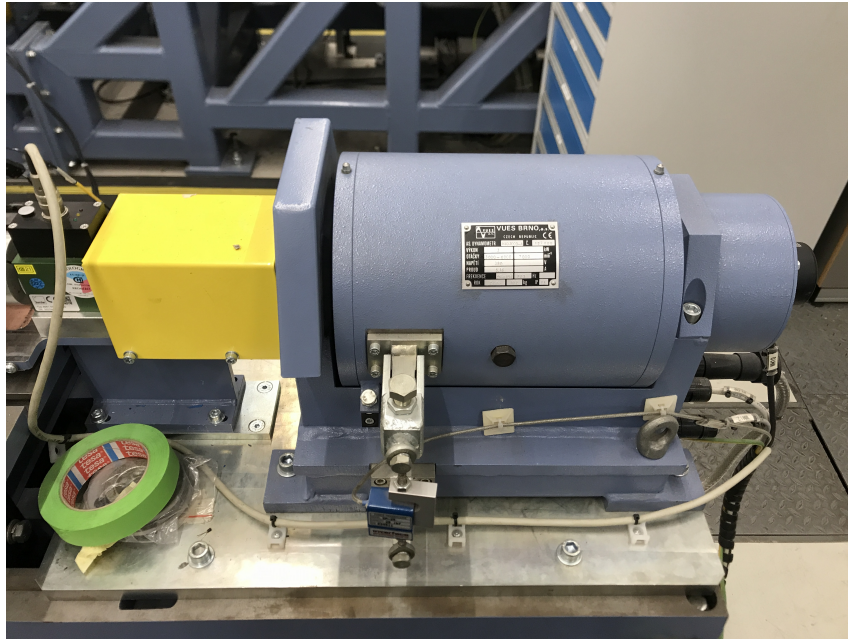


Obr. 4.4: Fotodokumentace detailu měřicího stolu s motorem a dynamometrem, autorská fotografie.

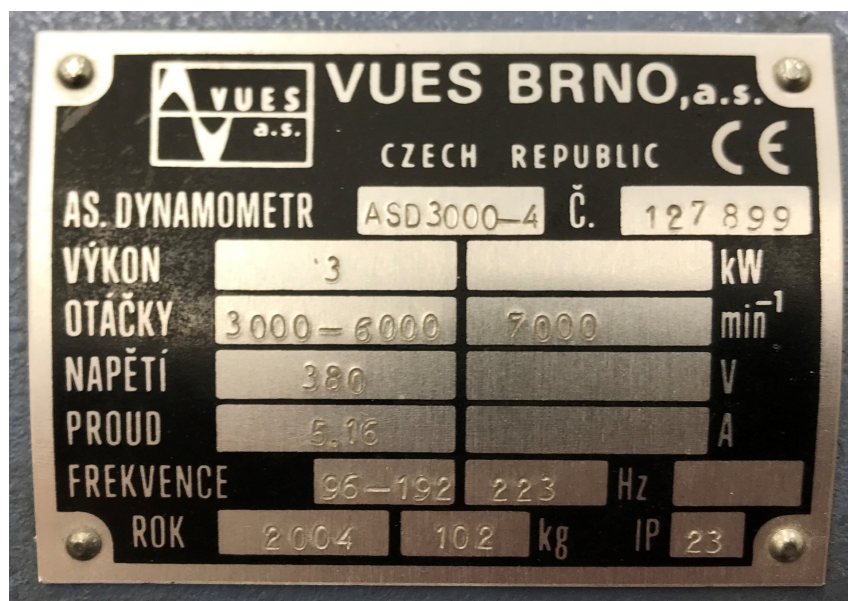


Obr. 4.5: Fotodokumentace detailu měřeného motoru, autorská fotografie.

Na Obr. 4.6 a Obr. 4.7 je zdokumentován použitý dynamometr výrobce VUES BRNO, a. s. .



Obr. 4.6: Fotodokumentace detailu dynamometru, autorská fotografie.

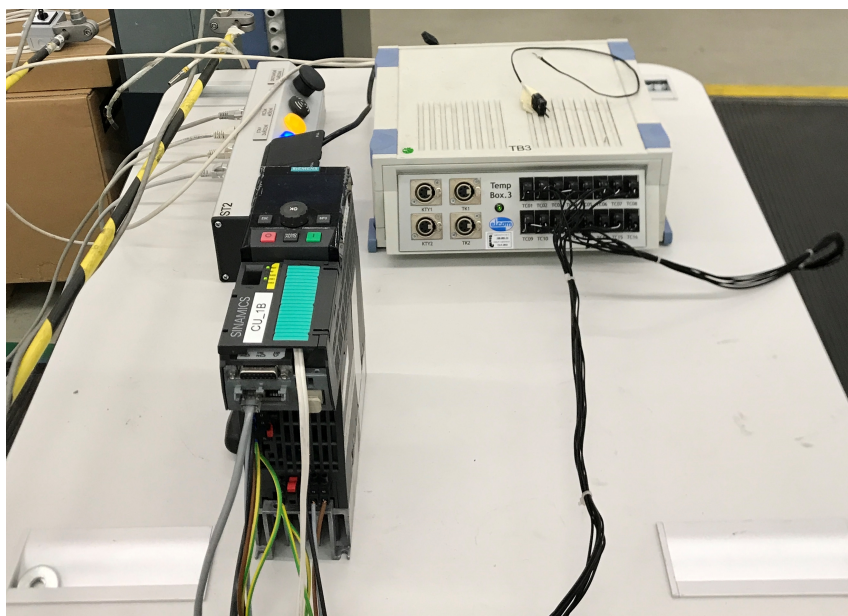


Obr. 4.7: Fotodokumentace štítku dynamometru, autorská fotografie.

Řídicí a měřicí pracoviště se skládá z pevného PC se dvěma monitory, dvou notebooků vybavených řídicím a měřicím SW, panelu pro nouzové odpojení proudu a datového spojení s použitými komponenty k měření, viz Obr. 4.8. Na dalším Obr. 4.9 je 1f měnič frekvence a temp box pro měření teplot.

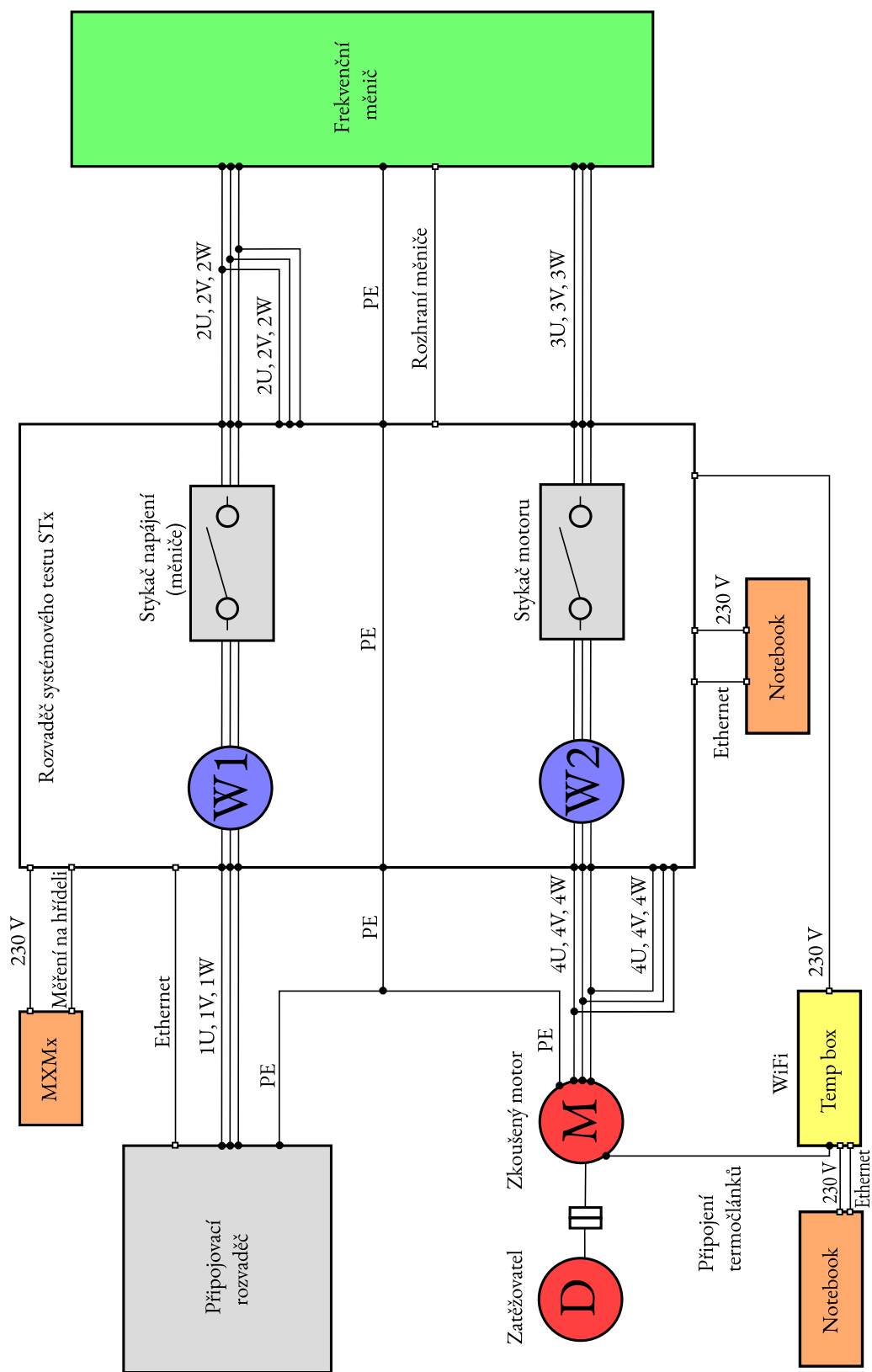


Obr. 4.8: Fotodokumentace řídicího a měřicího pracoviště, autorská fotografie.



Obr. 4.9: Fotodokumentace detailu měniče frekvence a temp boxu pro měření teplot, autorská fotografie.

4.1 Schéma zapojení měření



Obr. 4.10: Schéma zapojení měření.

Na Obr. je 4.10 schéma zapojení měření. Napájení je realizováno z přípojovacího rozvaděče. Následně vodiče vstupují do měřicí věže, která obsahuje vestavěné dva wattmetry a dva stykače. První wattmetr $W1$ měří vstupní napětí a proudy, je následován stykačem napájení (měniče). Dále je v řetězci zapojen frekvenční měnič, který je řízen U/f . Z jeho výstupu je zapojen stykač motoru a wattmetr $W2$. Na konci je napájení přivedeno na svorky zkoušeného motoru. Zapojení je realizováno buď do hvězdy na 400 V nebo do trojúhelníku na 230 V v závislosti na daném měření. Moment se z hřídele motoru přenáší přes spojku na hřídel dynamometru. Termočlánky osazené v čele vinutí a kostře motoru společně s termistory měřícími teplotu okolí jsou připojeny do temp boxu, který odesílá data o teplotách do měřícího SW. Z řídicího a monitorovacího PC lze nejen zaznamenávat data, ale i řídit zatěžovací moment. Veškeré komponenty, u kterých to lze, jsou z bezpečnostních důvodů propojeny zemnicím vodičem PE o předepsaném průřezu.

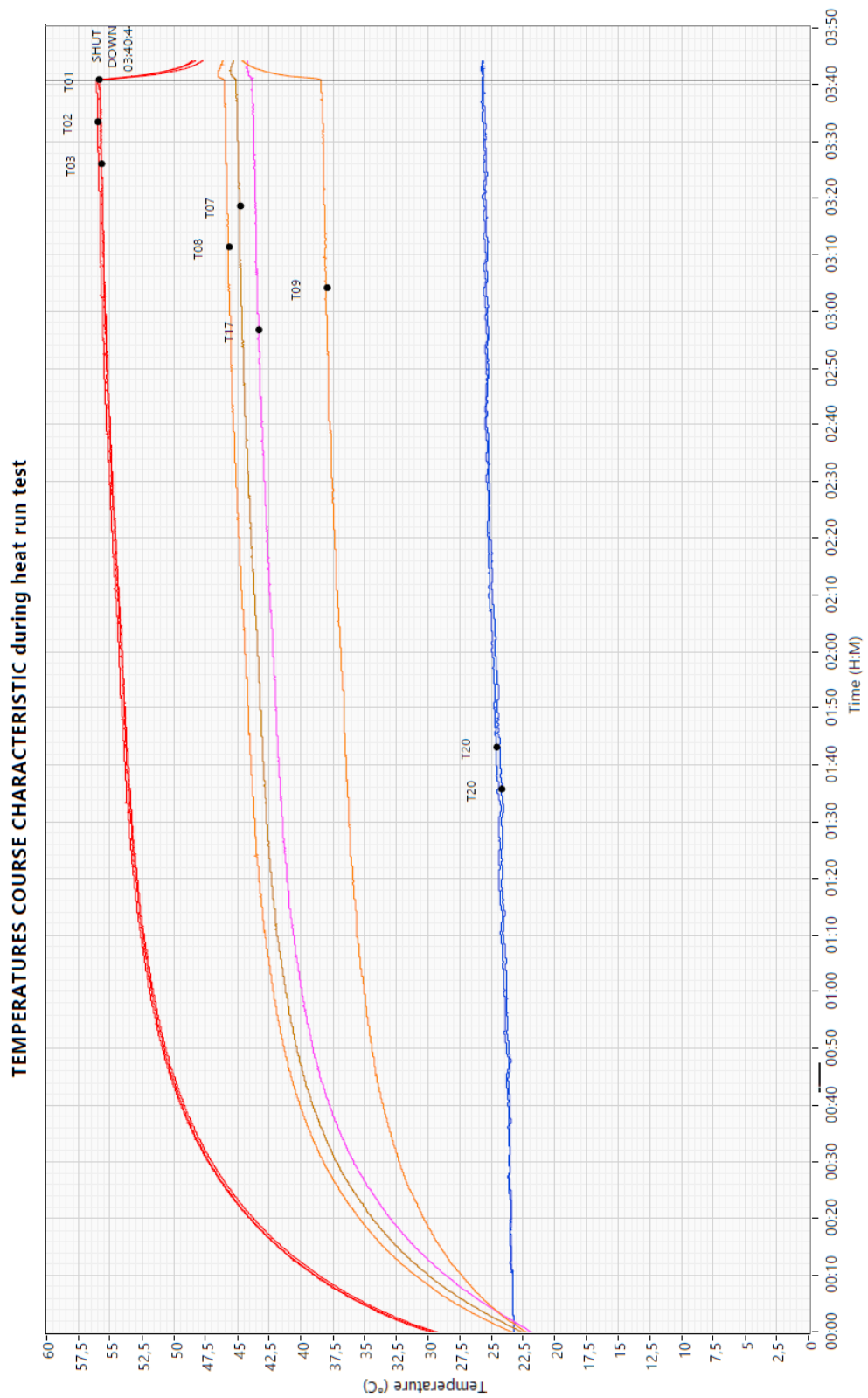
4.2 Průběh měření

Měření probíhalo ve zkušebně Siemens Elektromotory Mohelnice. Nejprve bylo provedeno řádné oteplení motoru, které trvalo zhruba 2,5 h při měření s 3f měničem a 4 h při měření s 1f měničem. Dle normy ČSN EN – 60034-2-1 [22] je elektrický stroj řádně oteplen za splnění podmínky, že se teplotní gradient několika částí stroje nemění o více než 2 K za hodinu. Vzorový průběh teplot pro měření s 1f měničem a zapojením do trojúhelníku je na Obr. 4.11. Následně bylo provedeno zastavení stroje a ochlazení.

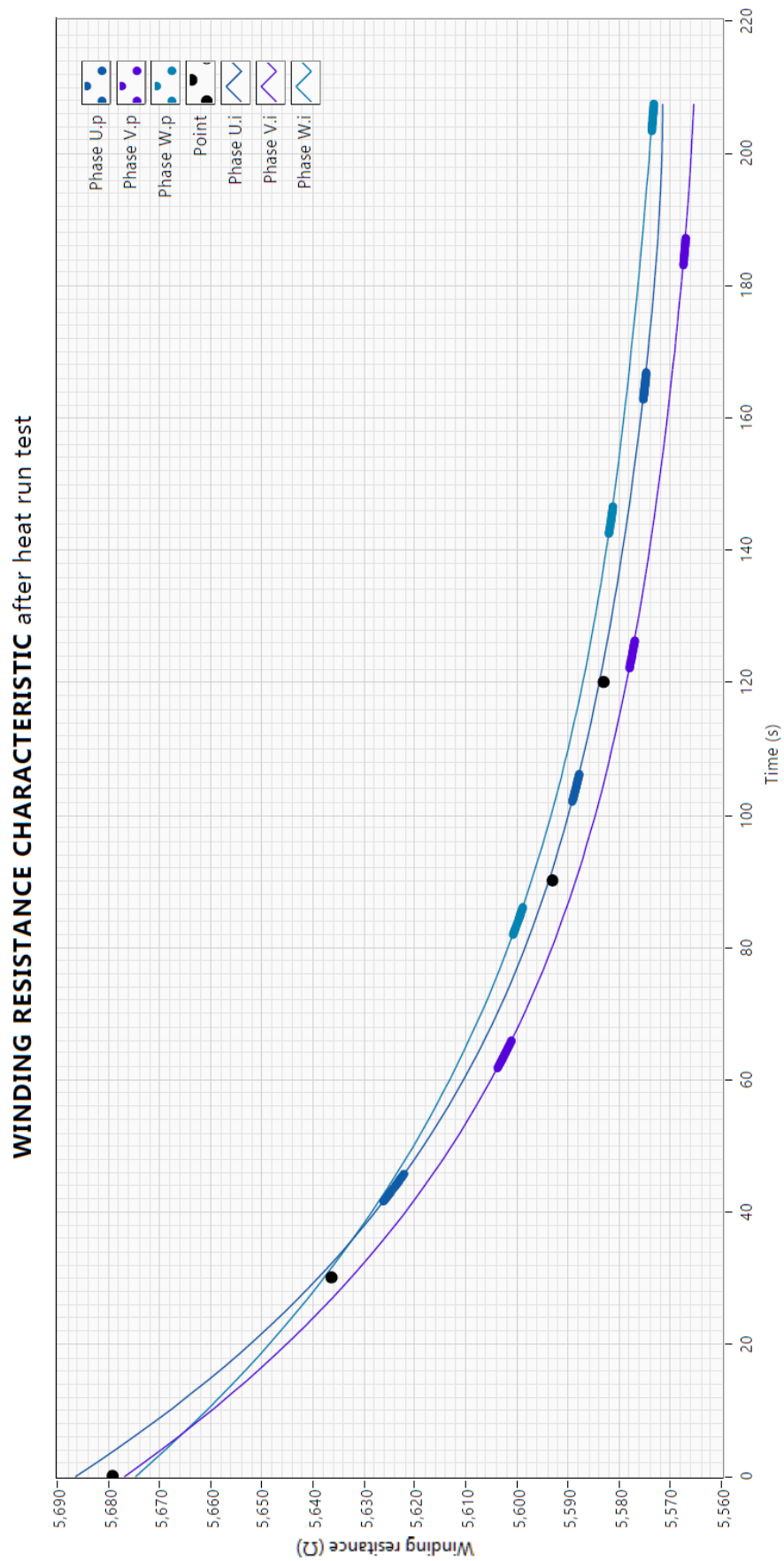
Poté bylo provedeno měření odporu jednotlivých fází motoru v krátkých intervalech ihned po vypnutí motoru. Tyto naměřené hodnoty byly proloženy křivkou a vyneseny do grafu viz Obr. 4.12.

Následně byl motor znovu řádně oteplen a bylo provedeno měření v 7 normalizovaných bodech (viz 3.4.3) podle normy IEC 60034-2-3. Otáčky motoru byly řízeny přímo na frekvenčním měniči pomocí relativní procentní regulace frekvence na výstupu měniče. Zatěžovací moment byl ovládán z měřícího SW. Nakonec byla naměřená data zpracována do protokolů [19], [20] a [18], které zároveň tvoří přílohu této bakalářské práce (viz 5.7). Ukázkové průběhy naměřených hodnot jsou vloženy jako Obr. 4.11 (průběh oteplení) a Obr. 4.12 (proložený průběh změny odporu vinutí po vypnutí motoru). Podle [23] lze usoudit, že průběh oteplení odpovídá teoretickým předpokladům. Klesající charakter odporů vinutí také odpovídá teoretickým znalostem o závislosti odporu na teplotě vodiče dle vztahu $R(\vartheta) = \rho(\vartheta) \cdot \frac{l}{S}$.

Pro posouzení vlivu napěťové hladiny měniče kmitočtu na parametry asynchronního motoru byly v kapitole Vyhodnocení naměřených dat (4.5) autorem vybrány 3 parametry soustavy, která je tvořena právě asynchronním motorem a měničem frekvence - celková účinnost, průměrné oteplení v čele vinutí a napětí na DC meziobvodu měniče frekvence.



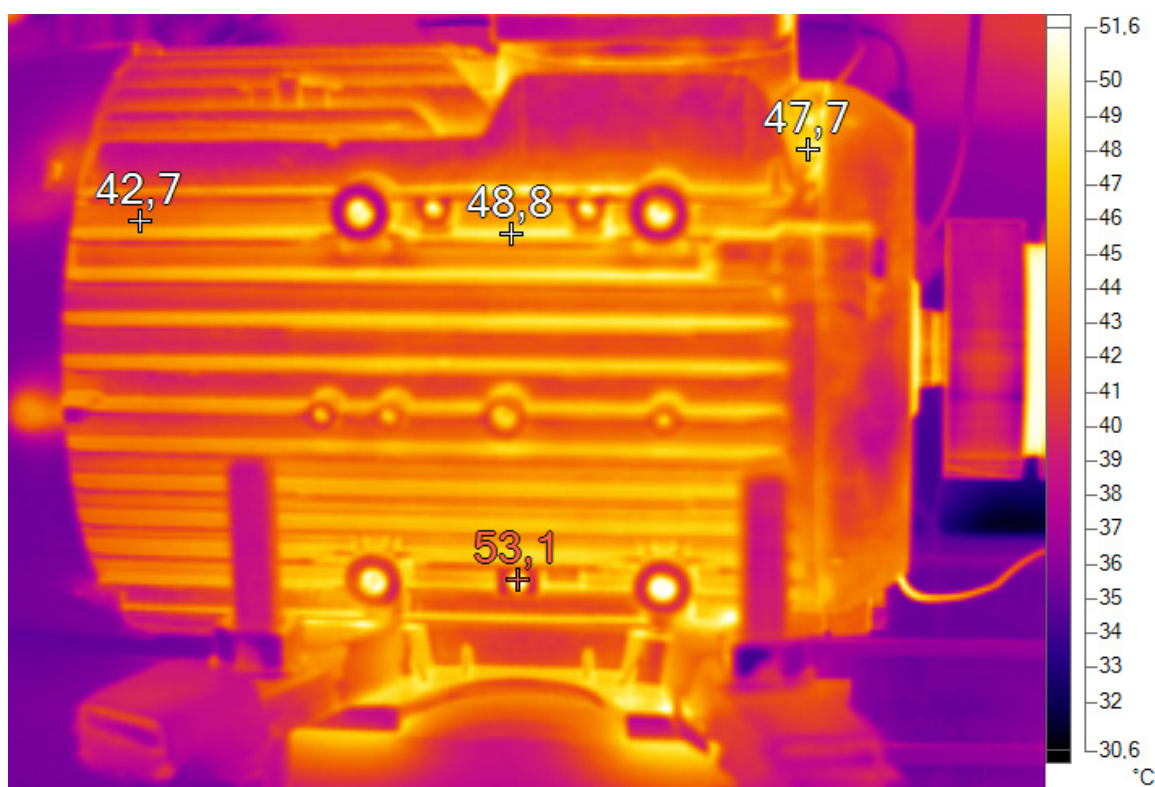
Obr. 4.11: Vzorový průběh teplot pro měření s 1f měničem a zapojením do trojúhelníku, převzato z [18]



Obr. 4.12: Graf s proložením naměřených odporů vinutí ihned po vypnutí motoru, převzato z [18].

4.3 Snímek z termokamery

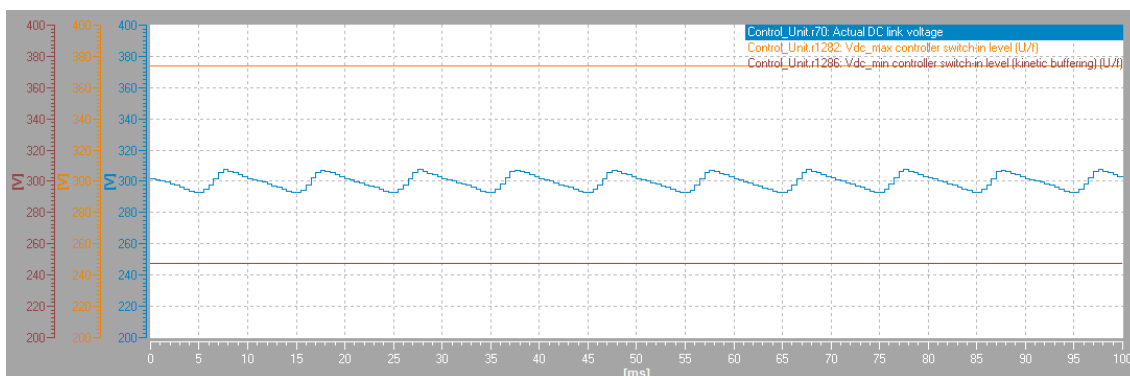
V tomto bodě práce je jako Obr. 4.13 přiložen snímek z termokamery pořízený v průběhu měření. Vzhledem k neznámé emisivitě a odrazivosti povrchů na fotografii zobrazených, by tento snímek čtenáři této práce měl sloužit pouze jako informativní. Jeho výpovědní hodnota spočívá ve znázornění rozložení teplot na povrchu měřeného asynchronního motoru, hřídeli a části spojky pro přenos momentu, nikoliv ke konkrétnímu odečtu teplot na jednotlivých částech. Snímek byl pořízen při měření s 1f měničem v zapojení D 230 V.



Obr. 4.13: Informativní snímek z termokamery, autorský snímek.

4.4 Snímek zvlnění napětí na DC meziobvodu měniče kmitočtu

Na Obr. 4.14 je prezentován důkaz toho, že napětí na DC meziobvodu měniče kmitočtu není pouze čistá stejnosměrná hodnota, ale je mírně zvlněné. Snímek byl pořízen přímo ze SW měniče kmitočtu pomocí měřících funkcí při měření s 1f měničem a motorem v zapojení D 230 V.



Obr. 4.14: Snímek zvlnění napětí na DC meziobvodu měniče kmitočtu, autorský snímek.

4.5 Tabulky naměřených hodnot

Měřící body dle normy IEC 60034 - 2 - 3, číslo bodu (rel. otáčky ; rel. moment)

1 (90 ; 100) 2 (50 ; 100) 3 (25 ; 100) 4 (90 ; 50) 5 (50 ; 50) 6 (50 ; 25) 7 (25 ; 25)

s anti-aliasing filtrem 100 kHz

Účinnosti měniče (%):

| | | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Měření 1: 3f Y 400 V | 96,64 | 94,23 | 91,22 | 94,86 | 90,69 | 85,57 | 79,13 |
| Měření 2: 3f D 230 V | 94,68 | 91,97 | 87,68 | 92,40 | 88,28 | 82,74 | 75,29 |
| Měření 3: 1f D 230 V | 94,13 | 92,09 | 88,60 | 92,43 | 88,98 | 83,81 | 76,21 |

Účinnosti motoru (%):

| | | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Měření 1: 3f Y 400 V | 81,98 | 74,33 | 60,17 | 79,18 | 72,55 | 62,02 | 49,26 |
| Měření 2: 3f D 230 V | 80,86 | 73,59 | 59,84 | 77,39 | 70,50 | 58,45 | 45,73 |
| Měření 3: 1f D 230 V | 82,00 | 73,87 | 55,98 | 79,31 | 73,28 | 63,47 | 53,70 |

Účinnosti celkové (%):

| | | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Měření 1: 3f Y 400 V | 79,22 | 70,05 | 54,88 | 75,10 | 65,80 | 53,07 | 38,98 |
| Měření 2: 3f D 230 V | 76,56 | 67,68 | 52,47 | 71,50 | 62,24 | 48,36 | 34,43 |
| Měření 3: 1f D 230 V | 77,19 | 68,02 | 49,60 | 73,31 | 65,20 | 53,19 | 40,92 |

Oteplení v čele ($\Delta^{\circ}\text{C}$):

| | | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Měření 1: 3f Y 400 V | 30,33 | 30,78 | 31,18 | 28,72 | 27,82 | 26,72 | 26,12 |
| Měření 2: 3f D 230 V | 32,12 | 32,23 | 32,47 | 30,98 | 29,87 | 29,07 | 28,38 |
| Měření 3: 1f D 230 V | 30,92 | 30,95 | 32,23 | 30,67 | 28,55 | 27,28 | 26,47 |

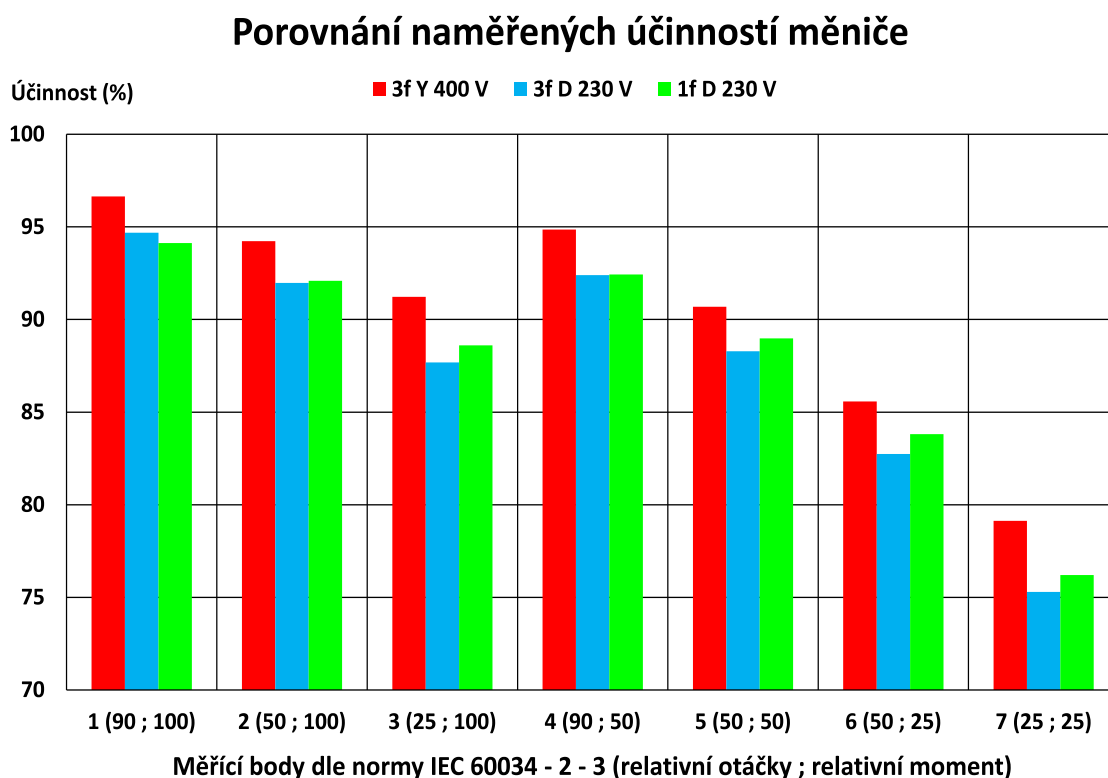
Napětí DC meziobvodu (V):

| | | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Měření 1: 3f Y 400 V | 535,3 | 541,8 | 546,6 | 543,4 | 547,4 | 550,7 | 553,7 |
| Měření 2: 3f D 230 V | 534,2 | 541,2 | 545,5 | 543,0 | 546,6 | 549,7 | 551,7 |
| Měření 3: 1f D 230 V | 292,8 | 301,1 | 307,4 | 304,4 | 310,6 | 314,9 | 317,6 |

5 Vyhodnocení naměřených dat

5.1 Vyhodnocení naměřených účinností měniče kmitočtu

V této kapitole budou diskutovány výsledky měření vlivu napěťové hladiny měniče kmitočtu na parametry asynchronního motoru v jednotlivých bodech dle normy IEC 60034-2-3 (viz 3.4.3). Nejprve bude na Obr. 5.1 prezentován graf vyjadřující účinnosti měniče kmitočtu.

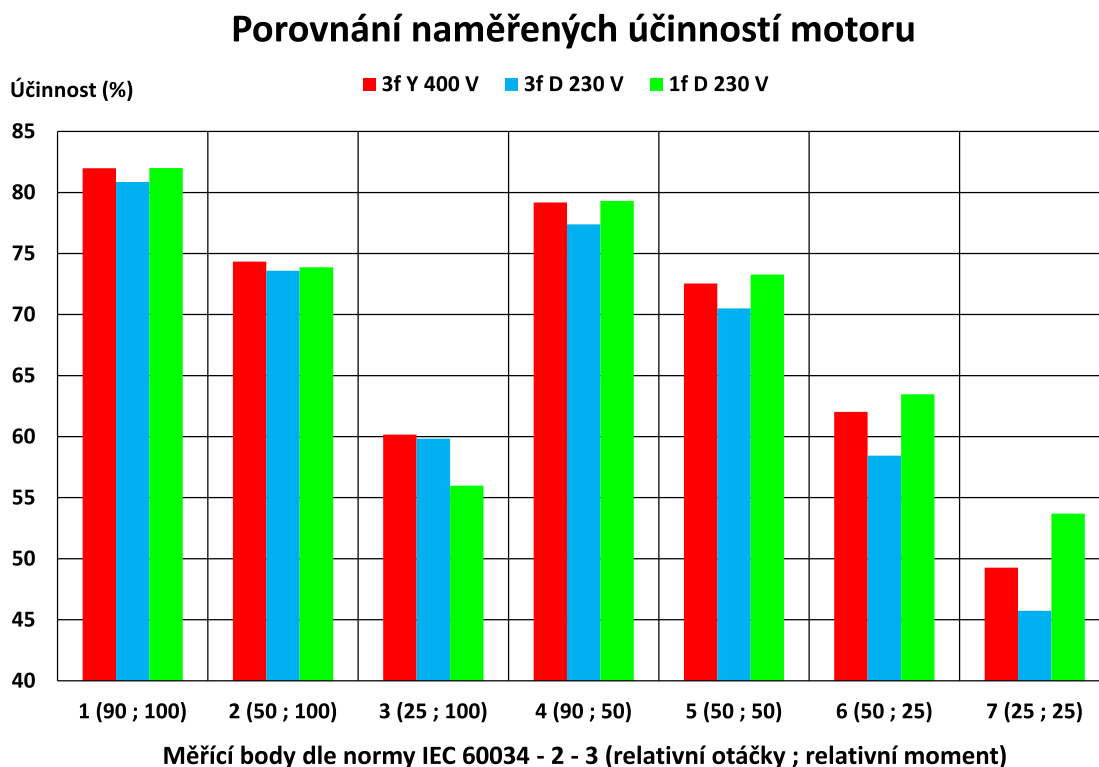


Obr. 5.1: Porovnání naměřených účinností měniče.

Z Obr. 5.1 je patrné, že se účinnost měniče pohybuje v rozsahu cca 97 - 75 %. V celém spektru 7 měřících bodů nekompromisně vítězí a dosahuje nejvyšších účinností 3f měnič kmitočtu (v grafu 5.1 červené sloupce), na který je dále v řetězci připojen asynchronní motor do hvězdy na 400 V. Následován je 1f měničem kmitočtu s motorem v zapojení D 230 V (v grafu 5.1 zelené sloupce). Pouze v bodě č. 1 se na pomyslné druhé příčce umístil namísto 1f D 230 V měnič v zapojení 3f D 230 V. Nejhorších účinností dosahoval 3f měnič kmitočtu s motorem zapojeným do D na 230 V (v grafu 5.1 modré sloupce). Celkově lze konstatovat, že moderní měniče kmitočtu dosahují poměrně vysokých účinností, které jsou uspokojivé z hlediska vyhovění pro široké spektrum aplikací, a proto nacházejí vysoké uplatnění v průmyslu.

5.2 Vyhodnocení naměřených účinností motoru

Obdobným způsobem lze porovnat i účinnosti asynchronního motoru, který následuje v zapojení za měničem kmitočtu. Pohybují se v rozmezí cca 82 - 45 %.



Obr. 5.2: Porovnání naměřených účinností motoru.

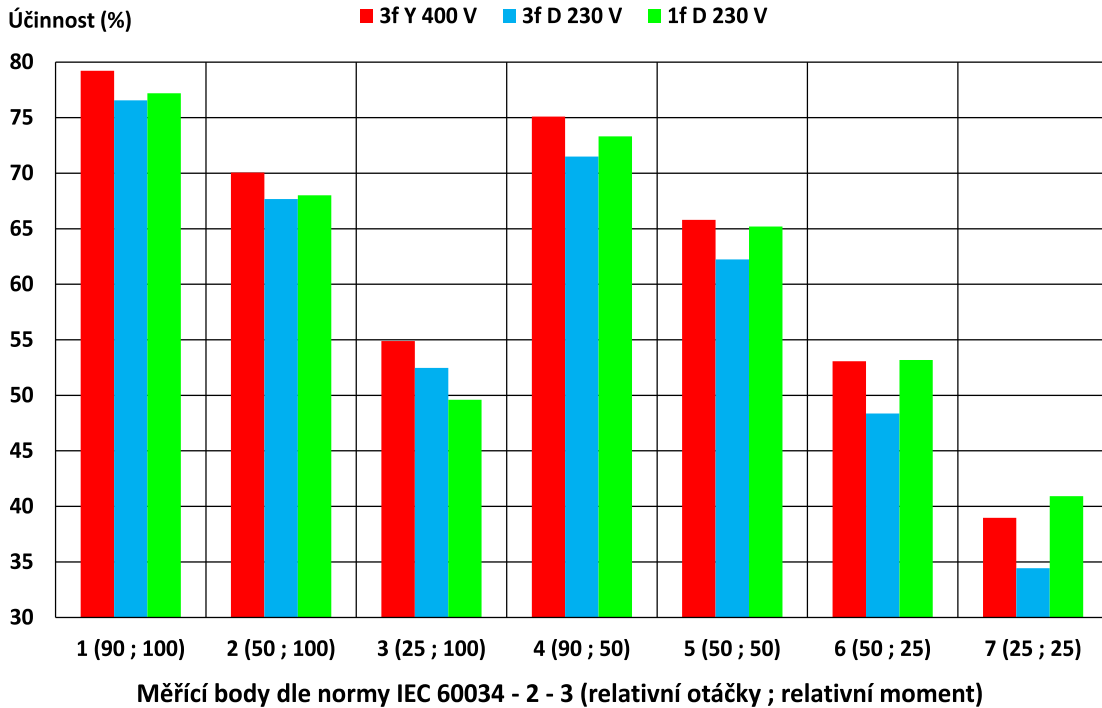
Pokud bude naše pozornost zaměřena na Obr. 5.2, nejde si nevšimnout jedné velmi zajímavé věci. Účinnost motoru s 3f měničem zapojeného do hvězdy na 400 V je v bodech číslo 1 a 2 srovnatelná s motorem zapojeným do trojúhelníku na 230 V a 1f měničem. V bodě číslo 3 je o cca 4 % lepší účinnost motorů zapojeného do hvězdy na 400 V a trojúhelníku na 230 V s 3f měničem než při použití 1f měniče. Od bodu číslo 4 a dále se ale situace obrací a postupně začíná převládat účinnost motoru zapojeného do trojúhelníku na 230 V s 1f měničem (zelené sloupce).

5.3 Vyhodnocení naměřených účinností soustavy asynchronní motor + měnič frekvence

Nyní již může být posouzena celková - tím pádem nejpodstatnější - účinnost, na základě které bude provedeno klíčové vyhodnocení vlivu napěťové varianty měniče kmitočtu na parametry asynchronního motoru. Jedná se o účinnost celé soustavy měniče frekvence a asynchronního motoru. Jak již bylo v Úvodu zmíněno, trendem

moderní doby je neustálé navyšování účinností, které jde ruku v ruce s šetřením energií v době, kdy je jejich cena daleko vyšší než dříve. V roce vypracování práce (2022) se cena elektrické energie meziročně rapidně zvedla. To vše podporuje myšlenku, že bychom se měli snažit energii účelně využívat i v průmyslovém měřítku.

Porovnání naměřených účinností



Obr. 5.3: Porovnání celkových naměřených účinností soustavy asynchronní motor + měnič frekvence.

Z Obr. 5.3 je patrné, že pro průmyslové aplikace je nejvýhodnější používat sestavu 3f měniče s asynchronním motorem zapojeným do hvězdy na 400 V. Ihned v závěsu se s mírně horší účinností pohybuje 1f měnič s motorem zapojeným do trojúhelníku na 230 V. Jako nejhorší z testu vyšla kombinace 3f měniče s motorem zapojeným do trojúhelníku na 230 V. To odpovídá tezi o uzavírání harmonických v trojúhelníkovém zapojení, která byla známa ještě před započítáním měření a podařilo se ji dokázat. Pokud je motor zapojen do trojúhelníku, vzniká zde cesta pro uzavírání harmonických. Jedná se dle literatury [24] o liché harmonické, nejvýrazněji se projevuje uzavření 3. harmonické. Vyšší harmonické (5., 7., 9., ...) nejsou pro svůj zanedbatelný vliv příliš podstatné.

Pozornost je třeba věnovat bodu číslo 3 (25 % otáček při 100 % momentu). Pouze v tomto bodě by bylo výhodnější upřednostnit 3f měnič frekvence s motorem zapojeným do D 230 V před 1f měničem s motorem zapojeným do D 230 V. Jednou z možností, jak by tento jev mohl být vysvětlen, je, že zde může docházet k různě vysokým ztrátám

v železe motoru, které jsou nezávislé na zatížení, ale značně závislé na napětí. Při nižším napětí jsou tyto ztráty vyšší a způsobí propad účinnosti. Dalším jevem, který celkově způsobuje hluboký pokles účinnosti v bodech číslo 3 a 7, jsou vysoké ztráty na rotoru v důsledku vysokého skluzu. Ten je možné vypočítat podle vztahu (1.1) jako:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100. \quad (5.1)$$

Dosažení:

$$s = \frac{1450 - 0,25 \cdot 1450}{1450} \cdot 100 = 75 \%. \quad (5.2)$$

Dle obecně známého vztahu:

$$\Delta P_{j2} = s \cdot P_\delta = \frac{s \cdot P_{mech}}{1 - s}, \quad (5.3)$$

pak lze jednoduše konstatovat, že ztráty na rotoru v bodech číslo 3 a 7 budou značně vysoké, což koresponduje s avizovaným propadem účinnosti.

Zbývá také vysvětlit, jak je možné, že soustava 1f měnič + motor zapojený do D na 230 V dosahuje v naprosté většině měřících bodů vyšších účinností než soustava 3f měnič + motor zapojený do D na 230 V. Pravděpodobně se na tranzistorech v 3f měniči více projeví spínací ztráty. To odpovídá tomu, že 1f měnič ve většině měřících bodů dosahuje vyšších účinností než 3f měnič s motorem zapojeným do D na 230 V viz Obr. 5.1.

Spínací ztráty tranzistoru v měniči kmitočtu lze přibližně určit dle [25] ze vztahu:

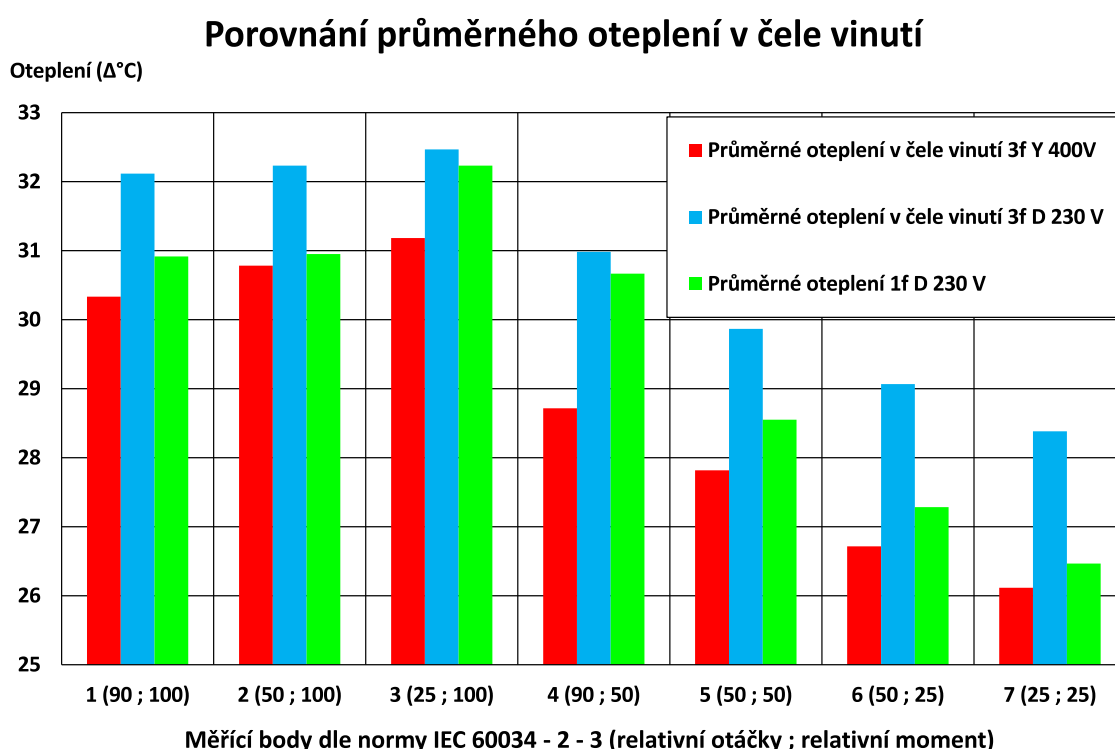
$$P_{sw} = \frac{1}{2} \cdot U_d \cdot I_d \cdot (t_{on} + t_{off}), \quad (5.4)$$

kde U_d je spínané napětí, I_d je proud a $t_{on} + t_{off}$ je doba trvání celého přechodového jevu při spínání respektive vypínání tranzistoru.

Ze vztahu (5.4) lze usoudit, že při spínání vyššího napětí budou spínací ztráty vyšší. Např. pro měřící bod číslo 5 lze z naměřených dat z měniče kmitočtu (protokoly z měření [20] a [18], strana 9, řádky p0076 a p0026) odhadnout, že spínací ztráty na 3f měniči s motorem zapojeným do D na 230 V budou vyšší než na 1f měniči s motorem zapojeným do D na 230 V.

5.4 Vyhodnocení oteplení v čelech vinutí

S Obr. 5.3 koresponduje i Obr. 5.4. Je vidět, že u nejnižších účinností nastává nejvyšší oteplení (modré sloupce), což také odpovídá teoretickým předpokladům. Pokud dochází k vyšším ztrátám do tepla, musí účinnost poklesnout. To koresponduje i s faktem, že při měření kombinace 3f frekvenční měnič s motorem zapojeným do D 230 V se měnič a následně i motor na pohmat znatelně více žhvil než při měření se stejným měničem a motorem zapojeným do Y na 400 V. Ruku v ruce s oteplením jde také zvýšení odběrového proudu z měniče při změně zapojení vinutí motoru a tím pádem změně napěťové hladiny z 400 V na 230 V. Z hlediska nejnižšího oteplení opět vítězí 3f měnič s motorem zapojeným do Y na 400 V.

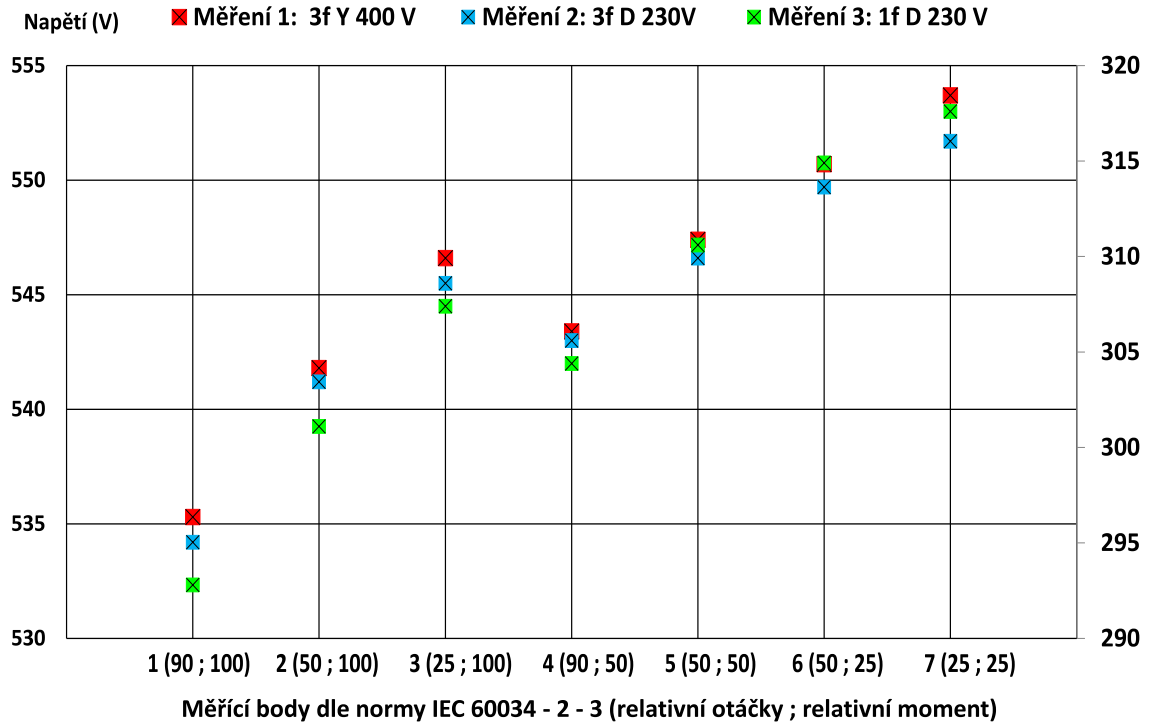


Obr. 5.4: Porovnání naměřených oteplení v čele vinutí.

5.5 Vyhodnocení napětí na DC meziobvodu měniče kmitočtu

Na Obr. 5.5 je porovnání napětí na DC meziobvodu měniče kmitočtu. 3f měniči přísluší levá vertikální osa, 1f měniči osa pravá. U 3f měniče se napětí DC meziobvodu pohybuje v mezích cca 555 až 530 V, zatímco u 1f měniče je interval napětí cca 315 až 295 V. Hodnota napětí stoupá s odlehčováním měniče kmitočtu při snižování otáček a zatěžovacího momentu motoru (v grafu směr doprava). Tento jev plně odpovídá obecně známé teorii o tom, že napětí stoupá při klesajícím zatížení.

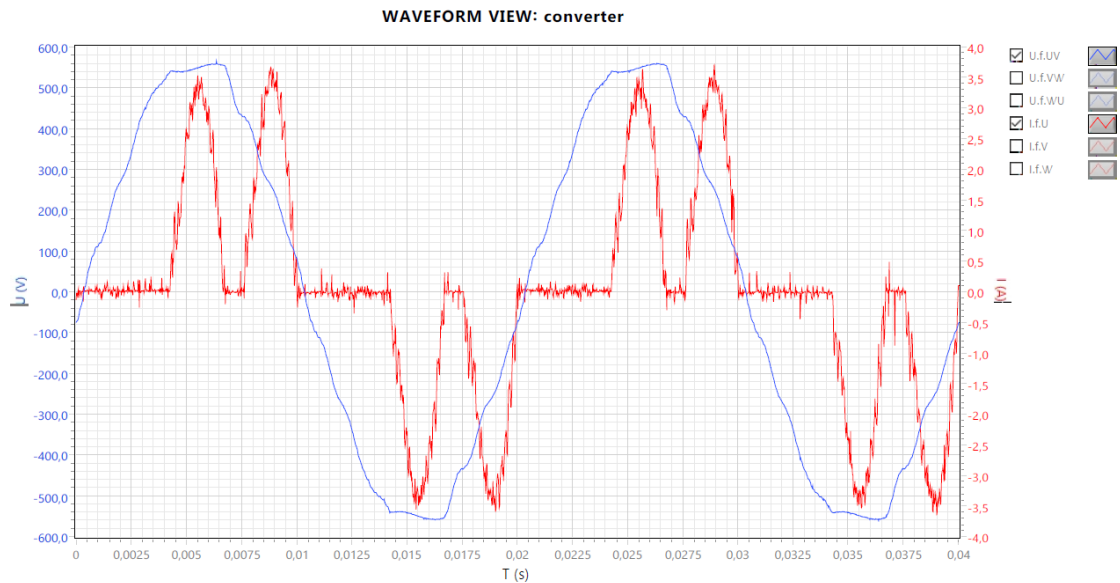
Porovnání napětí na DC meziobvodu měniče



Obr. 5.5: Porovnání naměřených napětí v DC meziobvodu měniče.

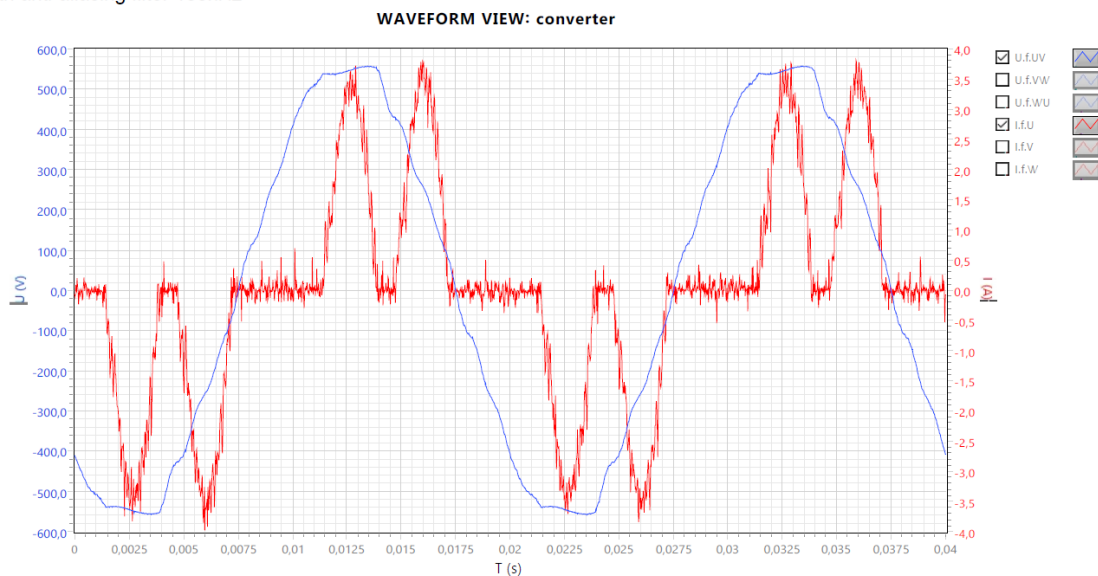
5.6 Porovnání průběhů napětí a proudů na měniči kmitočtu

with anti-aliasing filter 100kHz



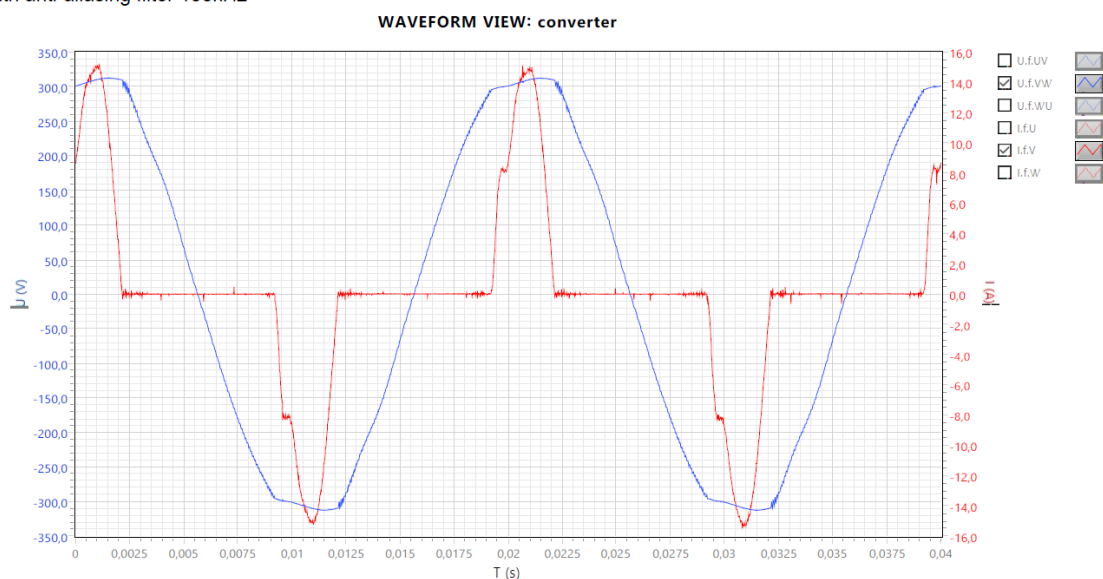
Obr. 5.6: Průběhy napětí a proudů na 3f měniči kmitočtu při zapojení motoru do Y 400 V.

with anti-aliasing filter 100kHz



Obr. 5.7: Průběhy napětí a proudů na 3f měnič kmitočtu při zapojení motoru do D 230 V.

with anti-aliasing filter 100kHz

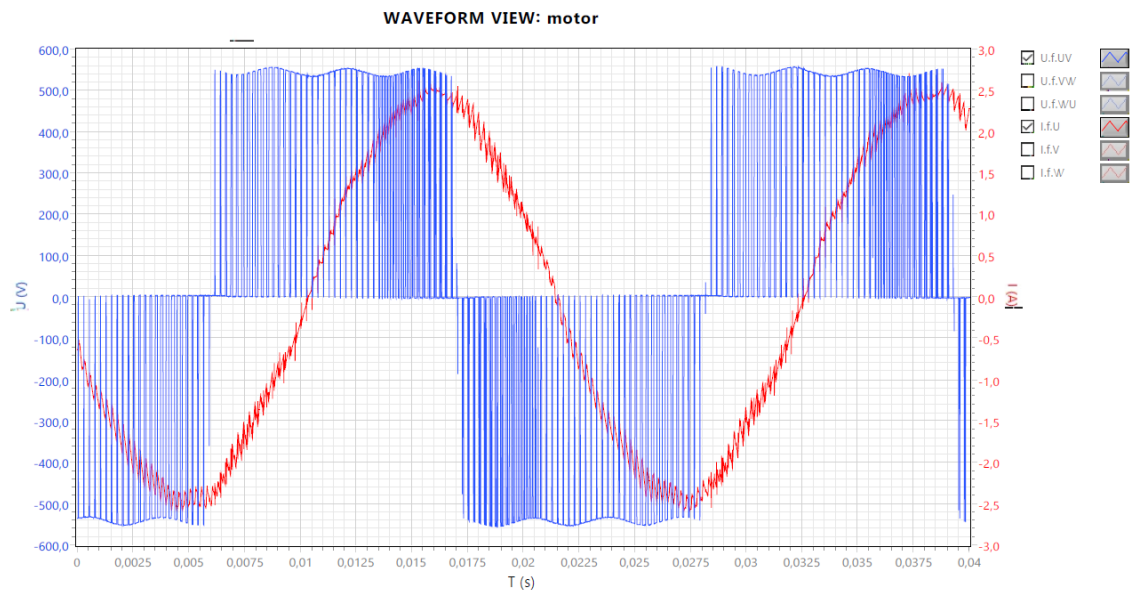


Obr. 5.8: Průběhy napětí a proudů na 1f měnič kmitočtu při zapojení motoru do D 230 V.

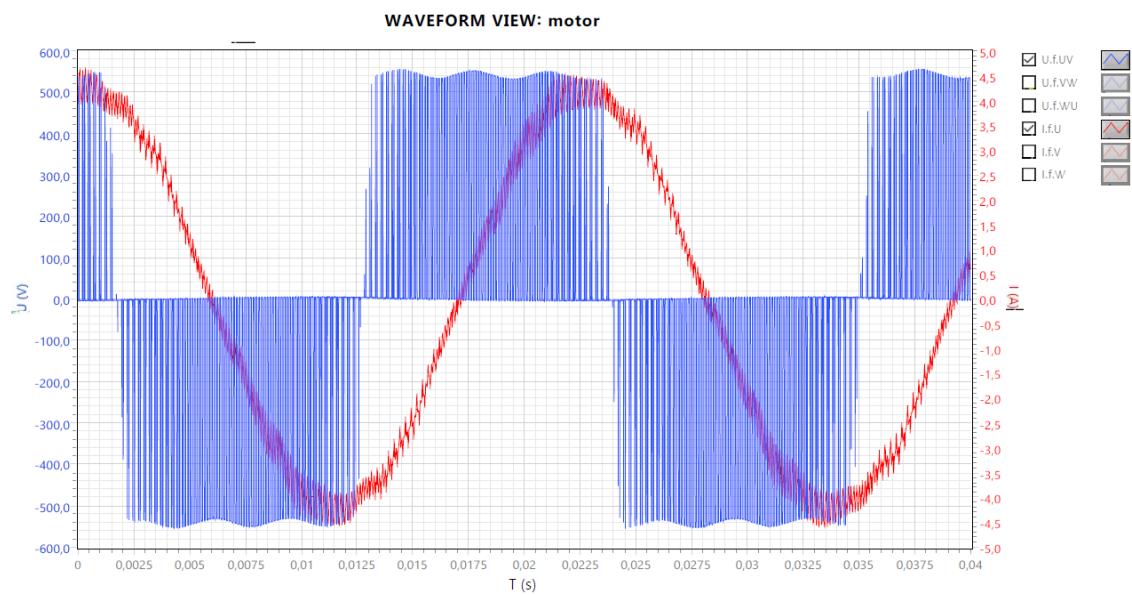
Na základě Obr. 5.6, Obr. 5.7 a Obr. 5.8 lze porovnat průběhy napětí a proudů na měnič frekvence (zobrazovány jsou pouze napětí a proudy jedné fáze). U 3f měniče je červenou barvou vynesena průběh proudu se dvěma typickými špičkami odpovídajícími šestipulznímu usměrnění. Jestliže bude dále porovnáván proud 3f měniče, lze usoudit, že pokud je motor za měničem zapojen v trojúhelníku, dochází k většímu zvlnění proudu na měnič kmitočtu. V Obr. 5.8 příslušícímu 1f měnič je špička pouze jedna, která je výsledkem dvojpulzního usměrnění. Zvlnění proudu je u 1f měniče mnohem menší než

u 3f měniče. Křivka napětí je také více zvlněna u 3f měniče. Napěťový průběh u 3f měniče obsahuje podle tvaru ve vyšší míře harmonické, zejména 3. harmonickou složku.

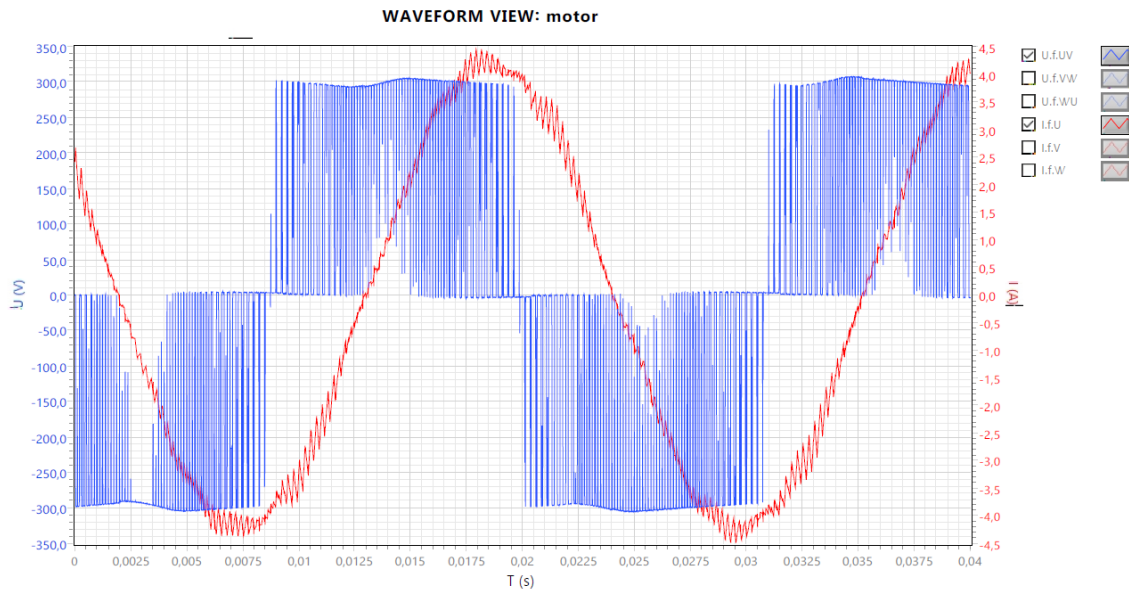
5.7 Porovnání průběhů napětí a proudů na asynchronním motoru



Obr. 5.9: Průběhy napětí a proudů na motoru při zapojení do Y 400 V s 3f měničem.



Obr. 5.10: Průběhy napětí a proudů na motoru při zapojení do D 230 V s 3f měničem.



Obr. 5.11: Průběhy napětí a proudů na motoru při zapojení do D 230 V s 1f měničem.

Jako poslední budou posuzovány napětí a proudy na asynchronním motoru (zobrazovány jsou pouze napětí a proudy jedné fáze). Proud je u 3f měniče více zvlněn v případě, že je motor zapojen do D na 230 V. Opět z důvodu uzavírání vyšších harmonických na trojúhelníku. Soustava s 1f měničem vykazuje také jisté zvlnění proudu. Všechny tři průběhy proudu jsou pro asynchronní motor přijatelné. Za pozornost stojí průběhy napětí. Jedná se o pulzy vznikající v důsledku PWM. Oba měniče mají spínací frekvenci 4 kHz. Nabízí se tedy otázka, jak je možné, že napěťové pulzy vypadají v každém případě trochu odlišně. Z principu fungování PWM lze říci, že v každém jednotlivém případě měnič mění šířku pulzů podle toho, jakou potřebuje výstupní hodnotu napětí. Pozornému čtenáři jistě neunikne, že v Obr. 5.11 je uprostřed spínaných obdélníků jakýsi nepravidelný propad či výpadek pulsů. Ve skutečnosti k ničemu takovému nedochází, tyto anomálie jsou způsobeny tím, že tyto pulzy byly natolik tenké, že je použitý wattmetr nedokázal vzhledem k jeho šířce pásma zaznamenat a vykreslit. Výška napěťových pulzů dosahuje vždy hodnoty napětí DC meziobvodu měniče.

ZÁVĚR

V bakalářské práci bylo dosaženo všech bodů zadání. Nejprve byl čtenář v první kapitole této práce seznámen se základním principem regulace rychlosti asynchronních strojů. Byly uvedeny vztahy pro výpočet skluzu asynchronního motoru (1.1), frekvenci pole rotoru (1.2), otáčky statorového pole (1.3) a otáčky rotoru asynchronního stroje (1.4).

Dalším předmětem zájmu bylo přiblížit čtenáři možnosti provozu třífázového asynchronního stroje bez měniče frekvence. Zatímco řádné třífázové magnetické pole je kruhové, při napájení z jednofázové sítě dochází k degradaci tvaru magnetického pole, které se zplošťuje. Obvykle lze takto nouzově napájet pouze motory do cca 2 kW, protože dochází k jednofázovému vytěžování sítě, dochází k poklesu účinnosti a ztrátě části točivého momentu. Napětí a proudy jsou u takto napájeného stroje nevyvážené. Velikost této asymetrie lze účinně omezit použitím pomocného kondenzátoru zapojeného paralelně k jedné cívice statoru o vhodné kapacitě, kterou lze určit podle empirického vzorce (1.5). Tento vzorec je obecně známý a v praxi dává poměrně dobré výsledky, nicméně je třeba počítat s blíže nespecifikovatelnou nepřesností a u tímto způsobem napájeného stroje kontrolovat provozní proudy a oteplení. Asynchronní třífázový stroj s pomocným kondenzátorem paralelně k jedné cívice statoru lze provozovat i v generátorickém režimu, přičemž je na výstupu generována jednofázová síť. Toto zapojení představuje stejné nevýhody jako motorické zapojení třífázového motoru na jednofázové síti. Dále je uvedeno měření pro asynchronní stroj s pomocným kondenzátorem. Jeho parametry jsou uvedeny v Tab. 4.1. Měření bylo potvrzeno funkčností empirického vztahu (1.5). Pokud se podaří dobře zvolit hodnotu velikosti kapacity pomocného kondenzátoru, průběhy napětí, proudů a účinnost takto napájeného asynchronního stroje se velmi blíží k účinnosti při třífázovém symetrickém napájení. Z hlediska dosažení co nejvyšší účinnosti by bylo pro motor specifikovaný v Tab. 4.1 vhodné zvolit pomocný kondenzátor o kapacitě $40 \mu\text{F}$. Nicméně při této pomocné kapacitě dochází k vyšší deformaci průběhů proudů, proto se jako kompromis jeví zvolit hodnotu $50 \mu\text{F}$. Dá se tedy předpokládat, že pokud bychom chtěli zobecnit metodu volby vhodného pomocného kondenzátoru, provedeme výpočet podle vzorce (1.5) a poté zvolíme nejbližší vyšší dostupnou kapacitu z řady kondenzátorů. Pokud se ale jedná o dlouhodobější nebo na výkon náročnější aplikaci, využijeme pro napájení třífázového asynchronního motoru odpovídající měnič frekvence.

Následující podkapitola přiblížila čtenáři této práce řízení asynchronního motoru pomocí měniče frekvence. Nejprve bylo vysvětleno skalární řízení v otevřené smyčce dle křivky U/f , které v praxi nachází široké využití pro svoji jednoduchost. Výhodou takového řízení je, že není zapotřebí zpětná vazba. Mezi nevýhody lze zařadit nedokonalosti v oblastech statické přesnosti regulace a dynamiky pohonu. Tyto nedostatky

lze částečně odstranit použitím zpětnovazebného PI regulátoru ve skalárním řízení se zpětnou vazbou, u něhož je nutností zařídit snímání otáček rotoru. Dále bylo popsáno vektorové řízení asynchronního motoru, řídicí technologie a způsoby snímání rychlosti. Na Obr. 1.11 a 1.12 byly názorně uvedeny schémata zapojení nepřímých měničů frekvence a byl popsán jejich princip fungování. Konec této podkapitoly byl věnován tématu řízení spínacích tranzistorů.

Druhá kapitola byla zaměřena na vliv harmonických frekvence měniče na parametry motoru. Vznik a působení harmonických je složitá problematika z důvodu, že je obtížné kvantitativně popsat magnetické pole v točivém stroji a při jeho popisu jsou užívána různá zjednodušení. Pozornost byla koncentrována na časové harmonické, které se právě u asynchronního motoru napájeného měničem frekvence mohou důrazně projevit. Byl popsán vznik, vliv a důsledky nesinusového napájení, asynchronních momentů, synchronních momentů a vibračních momentů. Vzniku asynchronních momentů lze předcházet správným zvolením počtu drážek rotoru dle vztahu (2.1), synchronní momenty lze omezit korektním počtem drážek statoru a rotoru vztah (2.3) a jejich natočením. Obecně lze konstatovat, že harmonické jsou ve stroji nežádoucím jevem, který se konstruktéři snaží minimalizovat, jelikož může negativně ovlivnit jeho chování, zejména se může projevit ve skluzu. Nesinusové napájení motoru se projevuje vznikem parazitních momentů, hluku, vibrací, zvýšením napěťového namáhání izolantů a zvýšením ztrát při přeměnách a přenosu energií.

Třetí kapitola se opírá o normu IEC 60034-2-3, dle které jsou popsány specifické zkušební metody určování ztrát a účinností střídavých motorů napájených z měničů. Postupně jsou popsány jednotlivé ztráty v asynchronním motoru a některé další termíny z normy. Následuje popis metody 2-3-A, která představuje přímé měření vstupu a výstupu. Uvedeno je zde také měření v 7 normalizovaných pracovních bodech dle Tab. 3.1.

Obsahem čtvrté kapitoly bakalářské práce je popis samotného měření vlivu napěťové varianty měniče kmitočtu na parametry asynchronního motoru. Nejprve je čtenář seznámen s postupem měření, dále jsou zde uvedeny parametry testovaného motoru, místa osazení termistorů pro měření oteplení a parametry použitých měničů kmitočtu. Nechybí ani fotodokumentace a schéma zapojení měřícího pracoviště viz Obr. 4.10. Příložen je také vzorový průběh teplot z oteplovací zkoušky a průběh odporu vinutí po ochlazení stroje. Dále je práce podpořena obrazovými materiály - snímkem z termokamery viz Obr. 4.13 a snímkem zvlnění napětí na DC meziobvodu měniče kmitočtu viz Obr. 4.14. V části 4.5 je uveden přehled důležitých naměřených hodnot.

Pátá a zároveň poslední kapitola hovoří o výsledcích měření vlivu napěťové variability měniče kmitočtu na parametry asynchronního motoru. Nejprve je posuzována účinnost samotného měniče v soustavě s asynchronním motorem. V celém spektru 7 měřících bodů (viz 3.4.3) podle normy IEC 60034-2-3 nekompromisně vítězí a nejvyšších účinností dosahuje 3f měnič následovaný motorem v zapojení do hvězdy na 400 V. Následně je porovnávána i účinnost samotného motoru v soustavě s měničem. Zde se ukázalo, že motor dosahuje ve většině měřících bodů nejvyšších účinností při napájení z 1f měniče. Nicméně za účelem rozhodnutí, který měnič je pro použití s asynchronním motorem nejvhodnější, je třeba klást důraz na celkovou účinnost soustavy motoru a měniče. Tyto účinnosti v jednotlivých měřících bodech jsou vyneseny na Obr. 5.3. Na první pohled je jasné, že nejvyšších účinností ve většině měřících bodů dosahoval 3f měnič s motorem zapojeným do hvězdy na 400 V. Potvrdilo se, že je nevýhodné provozovat 3f měnič s motorem zapojeným do trojúhelníku na 230 V. Toto tvrzení je kromě naměřené účinnosti soustavy podpořeno i tím, že tímto způsobem provozovaný měnič s motorem dosahoval nejvyšších oteplení v čelech vinutí motoru. Toto místo bylo pro zhodnocení oteplení vybráno právě z důvodu, že zde vinutí dosahuje nejvyšších teplot, které jsou pro motor nejkritičtější. Na Obr. 5.5 je graficky vyneseno naměřené napětí na DC meziobvodu měniče kmitočtu, jehož hodnota stoupá s tím, jak je odlehčován snižováním otáček a zatěžovacího momentu. Tento jev plně odpovídá obecně známé teorii o tom, že napětí stoupá při klesajícím zatížení. Jako poslední jsou v práci porovnávány průběhy napětí a proudů na měniči a motoru. Potvrdilo se, že díky uzavírání harmonických v trojúhelníkovém zapojení, dochází kromě snižování účinnosti také k vyššímu zvlnění proudu na měniči.

Literatura

- [1] Pavel Ryška a Viera Borošová. *ČSN EN IEC 60034-30-1 Točivé elektrické stroje – Část 30-1: Třídy účinnosti střídavých motorů provozovaných ze sítě (IE kód)*. 2014. URL: <https://csnonlinefirmy.agentura-cas.cz> (cit. 30. 12. 2021).
- [2] Andreas Binder. *Inverter-fed induction machines*. URL: <https://pdfslide.net/documents/5-inverter-fed-induction-machines-51-basic-performance-motor-development-56.html> (cit. 03. 11. 2021).
- [3] Pavel Ševčík. *Výpočet jednofázového asynchronního motoru*. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/30297743.pdf> (cit. 20. 11. 2021).
- [4] Chavaporn Bumroongphuck a Vijit Kinnares. *Performance Analysis of a Modified Three-Phase Induction Motor with Optimal Capacitance fed by Single-Phase AC Supply*. URL: <http://pe.org.pl/articles/2020/10/11.pdf> (cit. 07. 12. 2021).
- [5] Pavel Vácha. *Jednofázový asynchronní motor s pomocnou fází*. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/30280200.pdf> (cit. 24. 12. 2021).
- [6] Jiří Kostov. *Výpočet jednofázového asynchronního motoru*. URL: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/20988/final-thesis.pdf?sequence=8> (cit. 24. 12. 2021).
- [7] Yaw-Juen Wang, Lambert Pierrat a Elena Helerea. “Balancing a three-phase induction motor supplied from a single-phase source with two SVCs”. In: *2017 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM) 2017 Intl Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP)*. 2017, s. 268–274. DOI: [10.1109/OPTIM.2017.7974982](https://doi.org/10.1109/OPTIM.2017.7974982).
- [8] S. Yukhalang, B. Sawetsakulanond a V. Kinnares. “Performance evaluation of a single-phase grid connected induction generator”. In: *2014 17th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*. 2014, s. 3148–3153. DOI: [10.1109/ICEMS.2014.7014035](https://doi.org/10.1109/ICEMS.2014.7014035).
- [9] Pavel Kovář. *Řízení asynchronního motoru pomocí frekvenčního měniče*. URL: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29899 (cit. 24. 12. 2021).

- [10] Jiří Kubín. “Způsoby frekvenčního řízení asynchronního motoru z hlediska dynamiky”. Dis. URL: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjGz_bT6Pz0AhUvSPEDHXgfDokQFnoECAkQAQ&url=https%5C%3A%5C%2F%5C%2Fspace.tul.cz%5C%2Fbitstream%5C%2Fhandle%5C%2F15240%5C%2F38825%5C%2FU_495_M.pdf%5C%3Fsequence%5C%3D1&usq=AOvVaw3R7mmPeg_hepnZH3ctqaml (cit. 24. 12. 2021).
- [11] Vít Řehák. *Skalární řízení asynchronních motorů malých výkonů*. URL: https://space.tul.cz/bitstream/handle/15240/12197/bc_23415.pdf?sequence=1&isAllowed=y (cit. 24. 12. 2021).
- [12] Jan Nekvapil. *Řízení trojfázového asynchronního motoru*. URL: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18519 (cit. 03. 01. 2022).
- [13] Dalibor Červinka a Zdeněk Feiler. *Asynchronní motor s frekvenčním měničem, návod do laboratorního cvičení předmětu BPC-EPB*. URL: https://moodle.vut.cz/pluginfile.php/222791/mod_resource/content/1/BEPB_Laboratorni_navod_Asynchronn%C3%AD%5C%20_motor.pdf (cit. 04. 01. 2022).
- [14] Ctibor Mazal. *Aktuátory pro vzdušný průzkumný prostředek*. URL: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=67525 (cit. 20. 11. 2021).
- [15] Karel Chmelík. *Asynchronní a synchronní elektrické stroje*. Vysoká Škola Báňská-technická Univerzita Ostrava, 2011. ISBN: 8070788577.
- [16] Juha Pyrhönen, Valéria Hrabovcová a R. Scott Semken. *Electrical Machine Drives Control*. John Wiley & Sons Ltd, 2016. ISBN: 9781119260455.
- [17] Pavel Ryška a Václav Bošek. *ČSN EN IEC 60034-2-3 (Překlad) Točivé elektrické stroje - Část 2-3: Specifické zkušební metody určování ztrát a účinnosti střídavých motorů napájených z měničů*. 2020. URL: <https://csnonlinefirmy.agentura-cas.cz> (cit. 14. 10. 2021).
- [18] Petr Fiala. *System test report inverter-fed motor No. M2280M-813-4N*.
- [19] Petr Fiala. *System test report inverter-fed motor No. M2280M-632-4N*.
- [20] Petr Fiala. *System test report inverter-fed motor No. M2280M-642-4N*.
- [21] Siemens AG. *Datasheet k měničům Sinamics G120 PM240-2 6SL3210-1PE13-2UL1 a 6SL3210-1PB15-5UL0*. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/315/109750315/att_929650/v1/G120_PM2402_hw_inst_man_0817_en-US.pdf (cit. 26. 05. 2022).
- [22] Jiří Haratek. *Výpočet rozložení teplotního pole v elektrickém stroji*. URL: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=148777 (cit. 26. 05. 2022).

- [23] David Šimek. *Výpočet a měření oteplení odpojovače*. URL: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=67989 (cit. 26. 05. 2022).
- [24] Paresh C. Sen. *Principles of Electric Machines and Power Electronics*. John Wiley & Sons Inc, 2013. ISBN: 9781118078877.
- [25] Adam Vašíček. *Omezení spínacích ztrát ve spínaných zdrojích*. URL: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52384 (cit. 26. 05. 2022).

Seznam symbolů

| Značka | Veličina | Jednotka |
|----------------------|-----------------------------|---|
| B | Magnetická indukce | $[B] = \text{T}$ |
| C | Kapacita | $[C] = \text{F}$ |
| $C_{\text{pomocná}}$ | Velikost pomocné kapacity | $[C_{\text{pomocná}}] = \text{F}$ |
| f | Frekvence | $[f] = \text{Hz}$ |
| H | Intenzita magnetického pole | $[H] = \text{A} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| n | Otáčky | $[n] = \text{min}^{-1}$ |
| P | Elektrický výkon | $[P] = \text{W}$ |
| p | Počet pólových dvojic | $[p] = -$ |
| P_{1c} | Příkon motoru | $[P_{1c}] = \text{W}$ |
| P_{2c} | Mechanický výkon motoru | $[P_{2c}] = \text{W}$ |
| Q_1 | Počet drážek statoru | $[Q_1] = -$ |
| Q_2 | Počet drážek rotoru | $[Q_2] = -$ |
| s | Skruz | $[s] = - / \%$ |
| T | Točivý moment | $[T] = \text{Nm}$ |
| t | Čas | $[t] = \text{s}$ |
| T_c | Výstupní točivý moment | $[T_c] = \text{Nm}$ |
| U | Elektrické napětí | $[U] = \text{V}$ |
| U_d | Usměrněné napětí | $[U_d] = \text{V}$ |
| U_i | Indukované napětí | $[U_i] = \text{V}$ |
| U_{LL} | Sdružené napětí | $[U_{LL}] = \text{V}$ |
| η | Účinnost | $[\eta] = - / \%$ |
| Ψ | Spražený magnetický tok | $[\Psi] = \text{Wb}$ |
| ω_s | Skruzová úhlová rychlost | $[\omega] = \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ |

Seznam zkratk a jejich překlad

| Zkratka | Význam a překlad |
|---------|--|
| PWM | Pulzní šířková modulace Pulse width modulation |
| IGBT | Bipolární tranzistor s izolovaným hradlem Insulated gate bipolar transistor |
| GTO | Hradlem vypínaný tyristor Gate turn off thyristor |
| MOSFET | Polem řízený tranzistor Metal oxide semiconductor field effect transistor |
| FFT | Rychlá Fourierova transformace Fast Fourier transform |
| PI | Proporcionálně integrační |
| D | Zapojení do trojúhelníku Delta connection |
| Y | Zapojení do hvězdy Star connection |

Seznam obrázků

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Schéma zapojení třífázového asynchronního motoru napájeného z jednofázové sítě s jedním pomocným kondenzátorem | 11 |
| 1.2 | Schéma zapojení třífázového asynchronního motoru napájeného z jednofázové sítě se dvěma pomocnými kondenzátory | 12 |
| 1.3 | Schéma zapojení třífázového asynchronního motoru napájeného z jednofázové sítě s pomocnými kondenzátory spínanými spínači a tyristory spínanými indukčnostmi na základě snímání rychlosti otáčení. | 13 |
| 1.4 | Průběhy napětí a proudů při měření s pomocným kondenzátorem $40 \mu\text{F}$ | 15 |
| 1.5 | Průběhy napětí a proudů při měření s pomocným kondenzátorem $50 \mu\text{F}$ | 15 |
| 1.6 | Průběhy napětí a proudů při měření s pomocným kondenzátorem $60 \mu\text{F}$ | 16 |
| 1.7 | Porovnání naměřené účinnosti s jednotlivými pomocnými kondenzátory | 16 |
| 1.8 | Ilustrace k pojmu řízení v otevřené smyčce | 19 |
| 1.9 | Řízení U/f | 19 |
| 1.10 | Ilustrace k pojmu řízení v uzavřené smyčce | 20 |
| 1.11 | Schéma zapojení třífázového nepřímého měniče frekvence | 22 |
| 1.12 | Schéma zapojení jednofázového nepřímého měniče frekvence | 22 |
| 1.13 | První a druhá fáze unipolárního spínání tranzistorů pro H-můstek | 23 |
| 1.14 | První fáze bipolárního spínání tranzistorů pro H-můstek | 24 |
| 1.15 | Druhá fáze bipolárního spínání tranzistorů pro H-můstek | 24 |
| 1.16 | Schéma zapojení třífázového nepřímého měniče frekvence s brzdným odporem | 25 |
| 3.1 | Grafické znázornění normativních pracovních bodů | 32 |
| 4.1 | Štítek 3f měniče kmitočtu | 35 |
| 4.2 | Štítek 1f měniče kmitočtu | 36 |
| 4.3 | Fotodokumentace měřicího stolu s motorem a dynamometrem | 37 |
| 4.4 | Fotodokumentace detailu měřicího stolu s motorem a dynamometrem | 38 |

| | | |
|------|---|----|
| 4.5 | Fotodokumentace detailu měřeného motoru | 38 |
| 4.6 | Fotodokumentace detailu dynamometru | 39 |
| 4.7 | Fotodokumentace štítku dynamometru | 39 |
| 4.8 | Fotodokumentace řídicího a měřícího pracoviště | 40 |
| 4.9 | Fotodokumentace detailu měniče frekvence a temp boxu pro měření teplot | 40 |
| 4.10 | Schéma zapojení měření | 41 |
| 4.11 | Vzorový průběh teplot pro měření s 1f měničem a zapojením do trojúhelníku | 43 |
| 4.12 | Vzorový graf s proložením naměřených odporů vinutí ihned po vypnutí motoru | 44 |
| 4.13 | Informativní snímek z termokamery | 45 |
| 4.14 | Snímek zvlnění napětí na DC meziobvodu měniče kmitočtu | 46 |
| 5.1 | Porovnání naměřených účinností měniče | 47 |
| 5.2 | Porovnání naměřených účinností motoru | 48 |
| 5.3 | Porovnání celkových naměřených účinností soustavy asynchronní motor + měnič frekvence | 49 |
| 5.4 | Porovnání naměřených oteplení v čele vinutí | 51 |
| 5.5 | Porovnání naměřených napětí v DC meziobvodu měniče | 52 |
| 5.6 | Průběhy napětí a proudů na 3f měniči kmitočtu při zapojení motoru do Y 400 V | 52 |
| 5.7 | Průběhy napětí a proudů na 3f měniči kmitočtu při zapojení motoru do D 230 V | 53 |
| 5.8 | Průběhy napětí a proudů na 1f měniči kmitočtu při zapojení motoru do D 230 V | 53 |
| 5.9 | Průběhy napětí a proudů na motoru při zapojení do Y 400 V s 3f měničem | 54 |
| 5.10 | Průběhy napětí a proudů na motoru při zapojení do D 230 V s 3f měničem | 54 |
| 5.11 | Průběhy napětí a proudů na motoru při zapojení do D 230 V s 1f měničem | 55 |

Seznam tabulek

| | | |
|-----|---|----|
| 1.1 | Parametry motoru testovaného s pomocným kondenzátorem | 14 |
| 3.1 | Normativní pracovní body | 33 |
| 4.1 | Parametry měřeného motoru | 34 |
| 4.2 | Přehled termistorů | 34 |
| 4.3 | Parametry 3f měniče | 35 |
| 4.4 | Parametry 1f měniče | 36 |

Příloha:

Protokoly z měření ve zkušebně
Siemens, s.r.o., Odštěpný závod Elektro-
motory Mohelnice, Divize Motion Control

Address of the laboratory and place of test performance

Siemens s.r.o.
odštěpný závod Elektromotory Mohelnice
Zkušebna elektrických strojů
Nádražní 395/25, 789 85 Mohelnice
Czech Republic

Pages

8

Annex

2

Motor type

1AV3083B

Order code

1LE10030DB322A

Customer

Siemens AG
DI MC LVM R&D
Nádražní 25
789 85 Mohelnice
Czech republic

Head of laboratory

Rajčula Jiří

Call number

+420 583 47 2350

Date of measurement: start

06.04.2022

Date of approval and issue of the protocol

07.04.2022

Reference

Report No.

M2280M-632-4N

Date of measurement: end

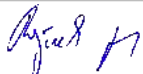
06.04.2022

The report must be reproduced only in full version and only with the permission of the laboratory.

index

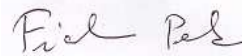
| | |
|---|-----|
| System test - Title page | 1/8 |
| System test - Converter parameters | 2/8 |
| System test - Overview 60034-2-3 - PDS 90 - without filter | 3/8 |
| System test - Overview 60034-2-3 - PDS 90 - with anti-aliasing filter (100kHz) | 4/8 |
| System test - Temperature Recording - M2280M-632-4N Test-00-oteplovaci_zk_2022-04-06_10-06-11.Thr_ST_Record | 5/8 |
| System test - Winding Resistant - M2280M-632-4N Test-00-oteplovaci_zk_2022-04-06_10-06-11.Rhr_ST_Record | 6/8 |
| System test - Scope Recording - Test-00 | 7/8 |
| Used devices | 8/8 |
| Annex 1 - converter data - every point | |
| Annex 2 - converter data - single time | |

Approved by:



Rajčula Jiří
Test manager
7. 4. 2022

Tested by:

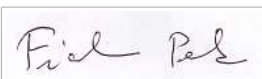


Fiala, Petr

| | | |
|------------------------------|---------------------------------------|--|
| Power output : 750,0W | Note : --- | Motor type : 1AV3083B |
| Voltage : 400,0V | Frequency : 50,00Hz | Order code : 1LE10030DB322A |
| Current : 1,750A | Speed : 1450/min | Report No.: M2280M-632-4N |
| Power factor : 0,750 | No. Poles : 4 | Specification : 58864011160022_D |
| Torque : 4,93Nm | Duty type : --- | Serial No.: 2021/9549 |
| Efficiency : 82,5% | Line connection : Y | Class of efficiency : IE3, Nema Premium |
| | Thermal class : F | |
| | Type of construction : IMB3 | |
| | Degree of protection : IP55 | |
| | Frame Size : 80M | |
| | Max. amb. temperature : 40,0°C | |

| | | |
|--|--|-----------------------------------|
| Converter: | | |
| Converter type: Sinamics G120 PM240-2 | Power: 1,1 kW | Current input: 4,1 A |
| Order number: 6SL3210-1PE13-2UL1 | Voltage input: 380-480 V / 47-63 Hz | Current output: 3,1 A |
| SW: | Voltage output: 0-480 V | Degree of protection: IP20 |
| | | Weight: 1,4 kg |
| Control Unit: | | |
| Type: CU 250S-2 PN (1) | Order number: 6SL3246-0BA22-1FA0 | Firmware version: |



| | |
|---|---|
| Signature :  | Page : <input type="text" value="2/8"/> |
| Test technician: Fiala, Petr | |

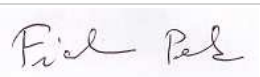
| | | | | | | | |
|----------------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------------|---------------|-----------------------|--------------------------|
| Power output : | 750,0W | Note : | --- | | Motor type : | 1AV3083B | |
| Voltage : | 400,0V | Frequency : | 50,00Hz | Thermal class : | F | Order code : | 1LE10030DB322A |
| Current : | 1,750A | Speed : | 1450/min | Type of construction : | IMB3 | Report No.: | M2280M-632-4N |
| Power factor : | 0,750 | No. Poles : | 4 | Degree of protection : | IP55 | Specification : | 58864011160022_D |
| Torque : | 4,93Nm | Duty type : | --- | Frame Size : | 80M | Serial No.: | 2021/9549 |
| Efficiency : | 82,5% | Line connection : | Y | Max. amb. temperature : | 40,0°C | Class of efficiency : | IE3, Nema Premium |

Overview of measured points of system test without filter

| | nominal | 1 (90;100) | 2 (50;100) | 3 (25;100) | 4 (90;50) | 5 (50;50) | 6 (50;25) | 7 (25;25) |
|---|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| U_{in} [V] | --,-- | 400,14 | 400,22 | 400,33 | 400,28 | 400,33 | 400,39 | 400,39 |
| f_{in} [Hz] | --,-- | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 |
| I_{in} [A] | --,-- | 1,6456 | 1,0963 | 0,73944 | 0,94112 | 0,63759 | 0,42351 | 0,30552 |
| P_{in} [W] | --,-- | 848,76 | 537,63 | 341,03 | 451,28 | 285,40 | 176,48 | 120,93 |
| f_{H01} [Hz] | --,-- | 45,0 | 26,0 | 14,0 | 44,5 | 25,0 | 24,5 | 12,5 |
| U_{H01} [V] | --,-- | 360,31 | 212,19 | 118,73 | 357,14 | 205,31 | 201,66 | 108,18 |
| I_{H01 1} [A] | --,-- | 1,7333 | 1,7327 | 1,7571 | 1,2669 | 1,2624 | 1,1321 | 1,1621 |
| I_{H01 2} [A] | --,-- | 1,7343 | 1,7347 | 1,7601 | 1,2659 | 1,2632 | 1,1323 | 1,1630 |
| I_{H01 3} [A] | --,-- | 1,7270 | 1,7289 | 1,7562 | 1,2594 | 1,2573 | 1,1257 | 1,1585 |
| I_{H01} [A] | --,-- | 1,7315 | 1,7321 | 1,7578 | 1,2641 | 1,2609 | 1,1300 | 1,1612 |
| P_{H01} [W] | --,-- | 813,40 | 499,24 | 305,20 | 421,22 | 251,53 | 143,45 | 90,109 |
| cos φ_{H01} [-] | --,-- | 0,753 | 0,784 | 0,844 | 0,539 | 0,561 | 0,363 | 0,414 |
| U_{rms} [V] | --,-- | 420,60 | 324,97 | 244,96 | 420,87 | 320,56 | 318,28 | 234,48 |
| I_{rms 1} [A] | --,-- | 1,7544 | 1,7642 | 1,7875 | 1,2956 | 1,3056 | 1,1803 | 1,2087 |
| I_{rms 2} [A] | --,-- | 1,7568 | 1,7674 | 1,7929 | 1,2967 | 1,3086 | 1,1835 | 1,2137 |
| I_{rms 3} [A] | --,-- | 1,7477 | 1,7588 | 1,7857 | 1,2874 | 1,2984 | 1,1721 | 1,2038 |
| I_{rms} [A] | --,-- | 1,7530 | 1,7635 | 1,7887 | 1,2933 | 1,3042 | 1,1786 | 1,2087 |
| P_{rms} [W] | --,-- | 820,54 | 507,83 | 312,05 | 428,48 | 260,07 | 152,11 | 96,895 |
| lambda [-] | --,-- | 0,638 | 0,492 | 0,376 | 0,451 | 0,345 | 0,224 | 0,178 |
| n_{act} [/min] | --,-- | 1301,2 | 728,87 | 362,19 | 1312,0 | 727,25 | 724,05 | 364,58 |
| T_{act} [Nm] | --,-- | 4,9349 | 4,9351 | 4,9351 | 2,4664 | 2,4664 | 1,2349 | 1,2348 |
| P₂ [W] | --,-- | 672,41 | 376,69 | 187,18 | 338,87 | 187,83 | 93,635 | 47,143 |
| I_d [A] | | | | | | | | |
| I_q [A] | | | | | | | | |
| U_{dc} [V] | | | | | | | | |
| T₁ [°C] | --,-- | 56,4 | 56,9 | 57,2 | 54,8 | 54,0 | 53,1 | 52,4 |
| T₂ [°C] | --,-- | 56,6 | 57,0 | 57,4 | 54,9 | 53,9 | 52,9 | 52,1 |
| T₃ [°C] | --,-- | 56,1 | 56,5 | 57,0 | 54,6 | 53,6 | 52,6 | 51,8 |
| T₄ [°C] | --,-- | 45,7 | 46,6 | 47,1 | 46,7 | 46,5 | 46,4 | 46,2 |
| T₅ [°C] | --,-- | 46,7 | 47,7 | 48,4 | 47,6 | 47,3 | 47,0 | 46,9 |
| T₆ [°C] | --,-- | 39,2 | 41,3 | 42,6 | 40,2 | 40,5 | 40,8 | 41,5 |
| T₇ [°C] | --,-- | 44,2 | 44,9 | 45,1 | 45,2 | 45,0 | 44,9 | 44,6 |
| T₈ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₉ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₀ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₁ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₂ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₃ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₄ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₅ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₆ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T_{amb 1} [°C] | --,-- | 25,6 | 25,7 | 25,7 | 25,5 | 25,5 | 25,5 | 25,5 |
| T_{amb 2} [°C] | --,-- | 26,4 | 26,4 | 26,4 | 26,3 | 26,4 | 26,4 | 26,4 |
| η_{converter} [%] | | 96,67 | 94,46 | 91,50 | 94,95 | 91,13 | 86,19 | 80,13 |
| η_{motor} [%] | --,-- | 81,95 | 74,18 | 59,98 | 79,09 | 72,22 | 61,56 | 48,65 |
| η_{system} [%] | | 79,22 | 70,06 | 54,89 | 75,09 | 65,81 | 53,06 | 38,99 |
| U_{out}/U_{in} [-] | | 0,90 | 0,53 | 0,30 | 0,89 | 0,51 | 0,50 | 0,27 |

Note: The calculation above does not contain the measurement uncertainty.

Signature :



Test technician:

Fiala, Petr

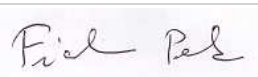
| | | | | | |
|----------------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------------|--------------------------|
| Power output : | 750,0W | Note : | --- | Motor type : | 1AV3083B |
| Voltage : | 400,0V | Frequency : | 50,00Hz | Thermal class : | F |
| Current : | 1,750A | Speed : | 1450/min | Type of construction : | IMB3 |
| Power factor : | 0,750 | No. Poles : | 4 | Degree of protection : | IP55 |
| Torque : | 4,93Nm | Duty type : | --- | Frame Size : | 80M |
| Efficiency : | 82,5% | Line connection : | Y | Max. amb. temperature : | 40,0°C |
| | | | | Order code : | 1LE10030DB322A |
| | | | | Report No.: | M2280M-632-4N |
| | | | | Specification: | 58864011160022_D |
| | | | | Serial No.: | 2021/9549 |
| | | | | Class of efficiency: | IE3, Nema Premium |

Overview of measured points of system test with anti-aliasing filter 100kHz

| | nominal | 1 (90;100) | 2 (50;100) | 3 (25;100) | 4 (90;50) | 5 (50;50) | 6 (50;25) | 7 (25;25) |
|---|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| U_{in} [V] | --,-- | 400,11 | 400,25 | 400,35 | 400,26 | 400,35 | 400,40 | 400,40 |
| f_{in} [Hz] | --,-- | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 |
| I_{in} [A] | --,-- | 1,6459 | 1,0970 | 0,74022 | 0,93941 | 0,63704 | 0,42313 | 0,30587 |
| P_{in} [W] | --,-- | 848,73 | 537,68 | 341,05 | 451,18 | 285,44 | 176,41 | 120,94 |
| f_{H01} [Hz] | --,-- | 45,0 | 26,0 | 14,0 | 44,5 | 25,0 | 24,5 | 12,5 |
| U_{H01} [V] | --,-- | 360,44 | 212,20 | 118,77 | 357,12 | 205,31 | 201,67 | 108,18 |
| I_{H01 1} [A] | --,-- | 1,7336 | 1,7326 | 1,7574 | 1,2668 | 1,2626 | 1,1323 | 1,1626 |
| I_{H01 2} [A] | --,-- | 1,7342 | 1,7345 | 1,7597 | 1,2659 | 1,2632 | 1,1324 | 1,1637 |
| I_{H01 3} [A] | --,-- | 1,7278 | 1,7295 | 1,7571 | 1,2596 | 1,2576 | 1,1263 | 1,1590 |
| I_{H01} [A] | --,-- | 1,7319 | 1,7322 | 1,7580 | 1,2641 | 1,2611 | 1,1303 | 1,1618 |
| P_{H01} [W] | --,-- | 813,80 | 499,30 | 305,39 | 421,44 | 251,55 | 143,46 | 90,164 |
| cos φ_{H01} [-] | --,-- | 0,753 | 0,784 | 0,844 | 0,539 | 0,561 | 0,363 | 0,414 |
| U_{rms} [V] | --,-- | 416,91 | 317,40 | 234,86 | 416,99 | 312,74 | 310,30 | 223,59 |
| I_{rms 1} [A] | --,-- | 1,7363 | 1,7349 | 1,7595 | 1,2691 | 1,2646 | 1,1341 | 1,1642 |
| I_{rms 2} [A] | --,-- | 1,7370 | 1,7369 | 1,7617 | 1,2683 | 1,2653 | 1,1343 | 1,1653 |
| I_{rms 3} [A] | --,-- | 1,7306 | 1,7319 | 1,7591 | 1,2620 | 1,2597 | 1,1281 | 1,1605 |
| I_{rms} [A] | --,-- | 1,7346 | 1,7346 | 1,7601 | 1,2665 | 1,2632 | 1,1321 | 1,1633 |
| P_{rms} [W] | --,-- | 820,18 | 506,68 | 311,11 | 427,97 | 258,86 | 150,96 | 95,696 |
| Lambda [-] | --,-- | 0,650 | 0,511 | 0,395 | 0,464 | 0,363 | 0,237 | 0,191 |
| n_{act} [/min] | --,-- | 1301,2 | 728,87 | 362,19 | 1312,0 | 727,25 | 724,02 | 364,59 |
| T_{act} [Nm] | --,-- | 4,9348 | 4,9345 | 4,9351 | 2,4663 | 2,4661 | 1,2348 | 1,2347 |
| P₂ [W] | --,-- | 672,39 | 376,64 | 187,18 | 338,85 | 187,81 | 93,621 | 47,140 |
| I_d [A] | | | | | | | | |
| I_q [A] | | | | | | | | |
| U_{dc} [V] | | | | | | | | |
| T₁ [°C] | --,-- | 56,3 | 56,9 | 57,2 | 54,7 | 54,0 | 52,9 | 52,3 |
| T₂ [°C] | --,-- | 56,6 | 57,0 | 57,5 | 54,8 | 53,8 | 52,7 | 52,1 |
| T₃ [°C] | --,-- | 56,1 | 56,6 | 57,0 | 54,5 | 53,5 | 52,4 | 51,8 |
| T₄ [°C] | --,-- | 45,7 | 46,7 | 47,1 | 46,7 | 46,6 | 46,4 | 46,3 |
| T₅ [°C] | --,-- | 46,7 | 47,7 | 48,4 | 47,5 | 47,3 | 47,0 | 46,9 |
| T₆ [°C] | --,-- | 39,2 | 41,3 | 42,8 | 40,1 | 40,6 | 40,8 | 41,6 |
| T₇ [°C] | --,-- | 44,2 | 44,9 | 45,1 | 45,1 | 45,0 | 44,8 | 44,6 |
| T₈ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₉ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₀ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₁ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₂ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₃ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₄ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₅ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₆ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T_{amb 1} [°C] | --,-- | 25,6 | 25,7 | 25,7 | 25,5 | 25,5 | 25,5 | 25,5 |
| T_{amb 2} [°C] | --,-- | 26,4 | 26,4 | 26,4 | 26,4 | 26,4 | 26,4 | 26,3 |
| η_{converter} [%] | | 96,64 | 94,23 | 91,22 | 94,86 | 90,69 | 85,57 | 79,13 |
| η_{motor} [%] | --,-- | 81,98 | 74,33 | 60,17 | 79,18 | 72,55 | 62,02 | 49,26 |
| η_{system} [%] | | 79,22 | 70,05 | 54,88 | 75,10 | 65,80 | 53,07 | 38,98 |
| U_{out}/U_{in} [-] | | 0,90 | 0,53 | 0,30 | 0,89 | 0,51 | 0,50 | 0,27 |

Note: The calculation above does not contain the measurement uncertainty.

Signature :



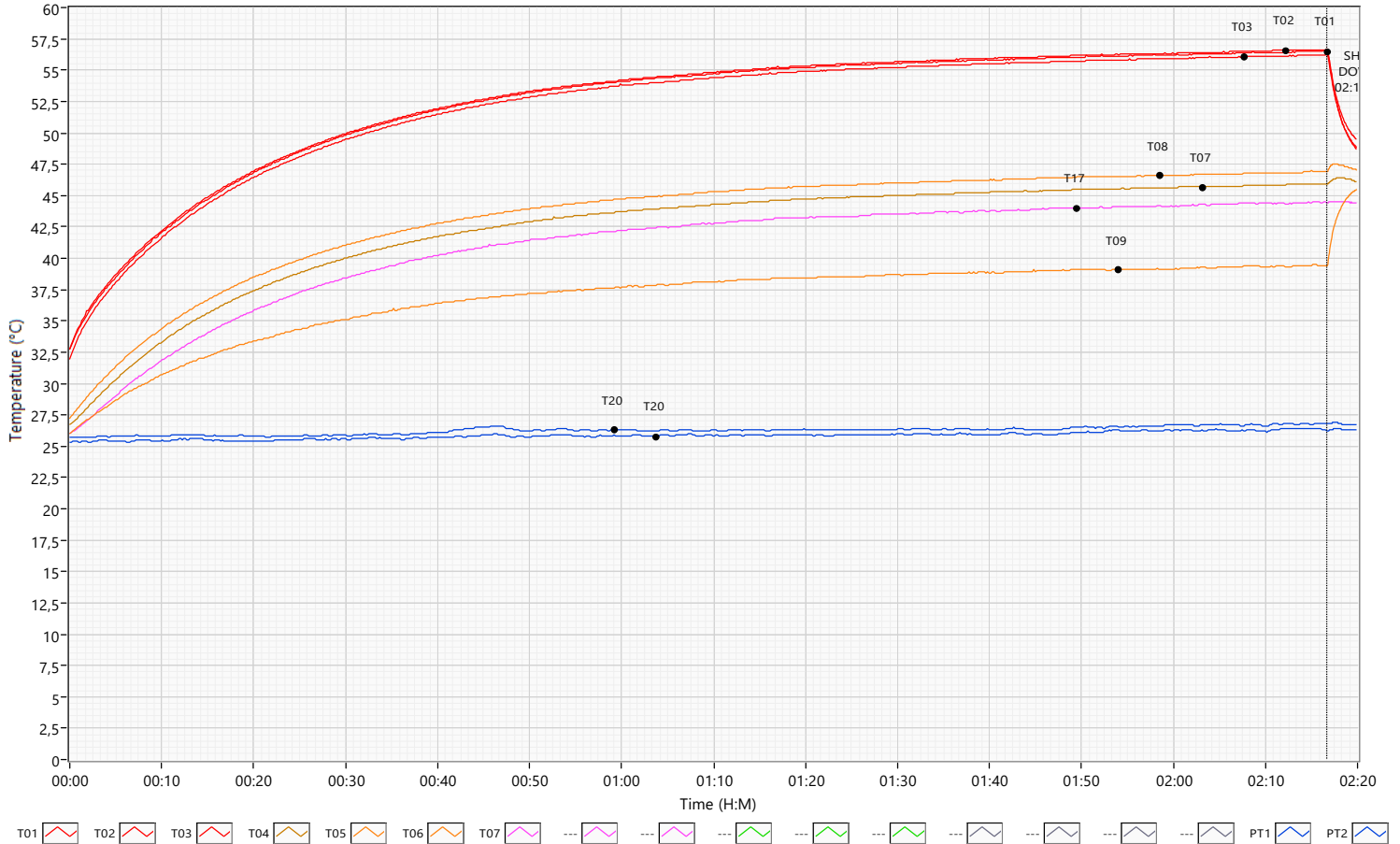
Test technician:

Fiala, Petr

| | | |
|------------------------------|------------------------------------|--|
| Power output : 750,0W | Note : --- | Motor type : 1AV3083B |
| Voltage : 400,0V | Frequency : 50,00Hz | Order code : 1LE10030DB322A |
| Current : 1,750A | Speed : 1450/min | Report No.: M2280M-632-4N |
| Power factor : 0,750 | No. Poles : 4 | Specification : 58864011160022_D |
| Torque : 4,93Nm | Duty type : --- | Frame Size : 80M |
| Efficiency : 82,5% | Line connection : Y | Max. amb. temperature : 40,0°C |
| | Thermal class : F | Class of efficiency : IE3, Nema Premium |
| | Type of construction : IMB3 | |
| | Degree of protection : IP55 | |
| | | |

360,5 V (H01)/ 45,0 Hz / 4,934 Nm / 0,6723 kW

TEMPERATURES COURSE CHARACTERISTIC during heat run test



Overview of parameters of measured point

| | | -30 min | end |
|----------------------------|--------|---------------|---------------|
| U in | [V] | 400,11 | 400,09 |
| I in | [A] | 1,6467 | 1,6462 |
| P in | [W] | 849,10 | 849,01 |
| f H01 | [Hz] | 45,0 | 45,0 |
| U H01 | [V] | 360,47 | 360,49 |
| I H01 | [A] | 1,7325 | 1,7323 |
| P H01 | [W] | 814,23 | 814,25 |
| cos φ H01 | [-] | 0,753 | 0,753 |
| U rms | [V] | 420,79 | 420,75 |
| I rms 1 | [A] | 1,7559 | 1,7559 |
| I rms 2 | [A] | 1,7577 | 1,7570 |
| I rms 3 | [A] | 1,7485 | 1,7485 |
| I rms | [A] | 1,7540 | 1,7538 |
| P rms | [W] | 821,45 | 821,39 |
| Lambda | [-] | 0,638 | 0,638 |
| n act | [/min] | 1301,2 | 1301,1 |
| T act | [Nm] | 4,9340 | 4,9339 |
| P 2 | [W] | 672,32 | 672,26 |
| η converter | [%] | 96,74 | 96,75 |
| η motor | [%] | 81,85 | 81,84 |
| η system | [%] | 79,18 | 79,18 |
| U out / U in | [-] | 0,90 | 0,90 |

MEASURED TABLE of the temperatures in steady state

| Place of measuring (TXX - thermal spot) | Steady temperature before ShutDown (°C) | Temperature rise (K) | Max. Temp. after ShutDown (°C) | Temp. rise (K) from max. temp. |
|---|---|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| TC01 = T01 - Winding overhang DS (U) | 56,5 | 29,9 | 56,4 | 30,0 |
| TC02 = T02 - Winding overhang DS (V) | 56,6 | 30,0 | 56,6 | 30,1 |
| TC03 = T03 - Winding overhang DS (W) | 56,2 | 29,6 | 56,2 | 29,7 |
| TC04 = T07 - Housing DS | 45,9 | 19,3 | 46,4 | 19,8 |
| TC05 = T08 - Housing (middle) | 46,9 | 20,3 | 47,5 | 20,9 |
| TC06 = T09 - Housing NDS | 39,4 | 12,9 | 45,5 | 18,9 |
| TC07 = T17 - Outer bearing ring DS | 44,5 | 17,9 | 44,5 | 17,9 |
| TC08 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC09 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC10 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC11 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC12 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC13 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC14 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC15 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC16 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC17 = T20 - Ambient temperature | 26,4 | --- | --- | --- |
| TC18 = T20 - Ambient temperature | 26,8 | --- | --- | --- |

Signature :

Test engineer :

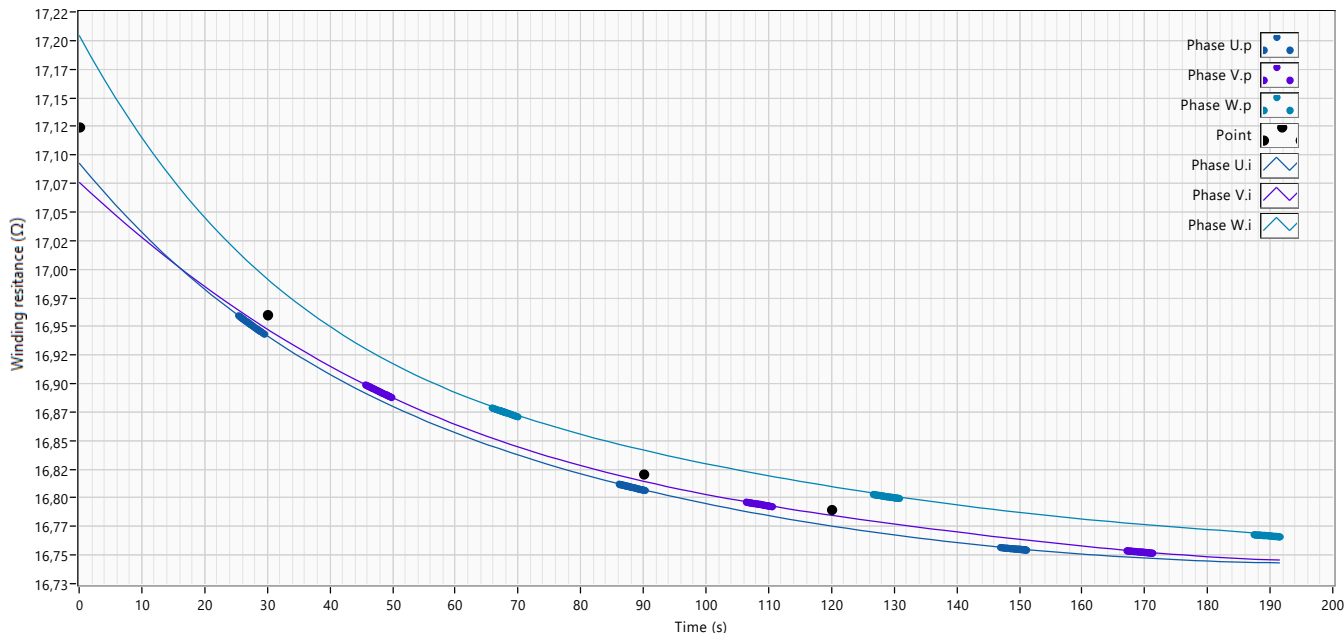
Fiala, Petr

Page : 5/8

| | | | | | |
|----------------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------------|--------------------------|
| Power output : | 750,0W | Note : | --- | Motor type : | 1AV3083B |
| Voltage : | 400,0V | Frequency : | 50,00Hz | Order code : | 1LE10030DB322A |
| Current : | 1,750A | Speed : | 1450/min | Report No.: | M2280M-632-4N |
| Power factor : | 0,750 | No. Poles : | 4 | Specification : | 58864011160022_D |
| Torque : | 4,93Nm | Duty type : | --- | Frame Size : | 80M |
| Efficiency : | 82,5% | Line connection : | Y | Max. amb. temperature : | 40,0°C |
| | | | | Class of efficiency : | IE3, Nema Premium |

360,5 V (H01)/ 45,0 Hz / 4,934 Nm / 0,6723 kW

WINDING RESISTANCE CHARACTERISTIC after heat run test



Calculated values of winding resistance (example according IEC)

| | | | | | | | |
|--|---------------------|----------------|----------------|----------------|--|--|--|
| Cold Winding | Ambient temperature | Resistance U-V | Resistance V-W | Resistance W-U | Resistance Rs AVG Cold | Rise temperature calculated for cold ambient temperature | |
| | 23,1°C | 15,23420Ω | 15,24008Ω | 15,25358Ω | 15,24262Ω | 31,9K | |
| Cold Winding at nominal ambient temperature | Ambient temperature | Resistance U-V | Resistance V-W | Resistance W-U | Resistance Rs AVG HeatRun | | |
| | 20,0°C | 15,05070Ω | 15,05651Ω | 15,06985Ω | 15,05902Ω | | |
| | Ambient temperature | Resistance U-V | Resistance V-W | Resistance W-U | Resistance Rs AVG Cold | Resistance Rf AVG Cold | Winding Connection |
| | 25,0°C | 15,34581Ω | 15,35174Ω | 15,36534Ω | 15,35430Ω | 7,67715Ω | Y |
| After Heat Run | Ambient temperature | Resistance U-V | Resistance V-W | Resistance W-U | Resistance Rs AVG HeatRun | Rise temperature calculated for heat run ambient temperature | Winding temperature after Heat run |
| | 26,5°C | 17,09291Ω | 17,07611Ω | 17,20457Ω | 17,12453Ω | 28,5K | 55,0°C |
| After Heat Run at nominal ambient temperature | Ambient temperature | Resistance U-V | Resistance V-W | Resistance W-U | Resistance Rs AVG HeatRun at nominal ambient temperature | | Winding temperature after HeatRun at t25 |
| | 20,0°C | 16,70920Ω | 16,69225Ω | 16,82038Ω | 16,74061Ω | | 53,5°C |
| | Ambient temperature | Resistance U-V | Resistance V-W | Resistance W-U | Resistance Rs AVG HeatRun at nominal ambient temperature | | |
| | 25,0°C | 17,00431Ω | 16,98748Ω | 17,11586Ω | 17,03588Ω | | |

MEASURED TABLE of the resistance values IEC

| | 0s | 30s | 90s | 120s |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ambient temperature (°C) * | 26,5 | 26,5 | 26,5 | 26,5 |
| Resistance U-V (Ω) | 17,0929 | 16,9416 | 16,8070 | 16,7754 |
| Rise of temperature U-V (K) | 28,10 | 25,54 | 23,26 | 22,72 |
| Resistance V-W (Ω) | 17,0761 | 16,9476 | 16,8145 | 16,7847 |
| Rise of temperature V-W (K) | 27,70 | 25,53 | 23,27 | 22,77 |
| Resistance W-U (Ω) | 17,2046 | 16,9915 | 16,8418 | 16,8099 |
| Rise of temperature W-U (K) | 29,62 | 26,02 | 23,48 | 22,94 |
| Resistance avg (Ω) | 17,1245 | 16,9602 | 16,8211 | 16,7900 |
| Rise of temperature, avg (K) | 28,47 | 25,69 | 23,34 | 22,81 |
| Winding temperature (°C) | 54,98 | 52,19 | 49,84 | 49,31 |

Temperature Rise is calculated using constant of resistance:
IEC - Pure cooper K=235, aluminium K=225

Determination temperature Rise and winding resistance for efficiency calculation:
IEC - standard at 0s, optionally at 30s after shutdown

* average of the measured values

Signature :

Test engineer :

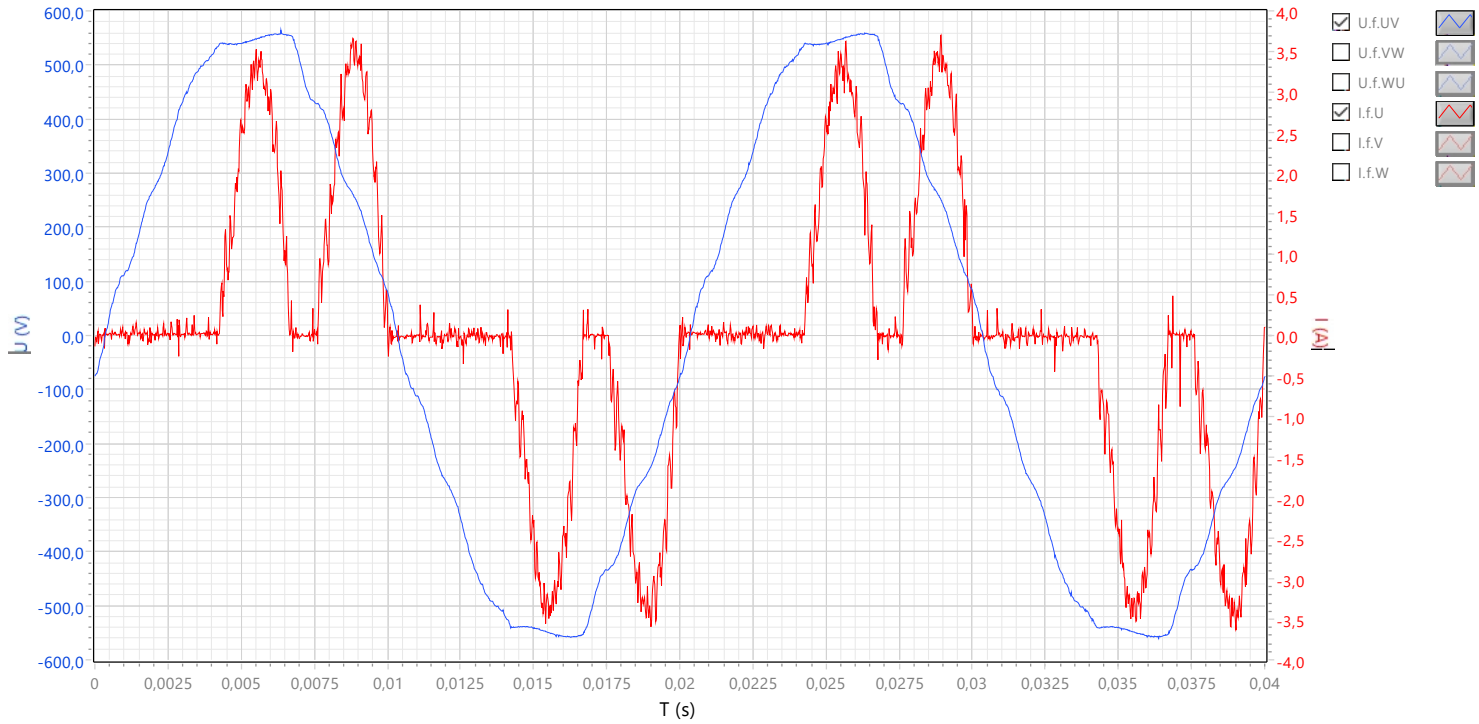
Fiala, Petr

| | | |
|------------------------------|----------------------------|--|
| Power output : 750,0W | Note : --- | Motor type : 1AV3083B |
| Voltage : 400,0V | Frequency : 50,00Hz | Order code : 1LE10030DB322A |
| Current : 1,750A | Speed : 1450/min | Report No.: M2280M-632-4N |
| Power factor : 0,750 | No. Poles : 4 | Specification : 58864011160022_D |
| Torque : 4,93Nm | Duty type : --- | Frame Size : 80M |
| Efficiency : 82,5% | Line connection : Y | Max. amb. temperature : 40,0°C |
| | | Thermal class : F |
| | | Type of construction : IMB3 |
| | | Degree of protection : IP55 |
| | | Class of efficiency : IE3, Nema Premium |

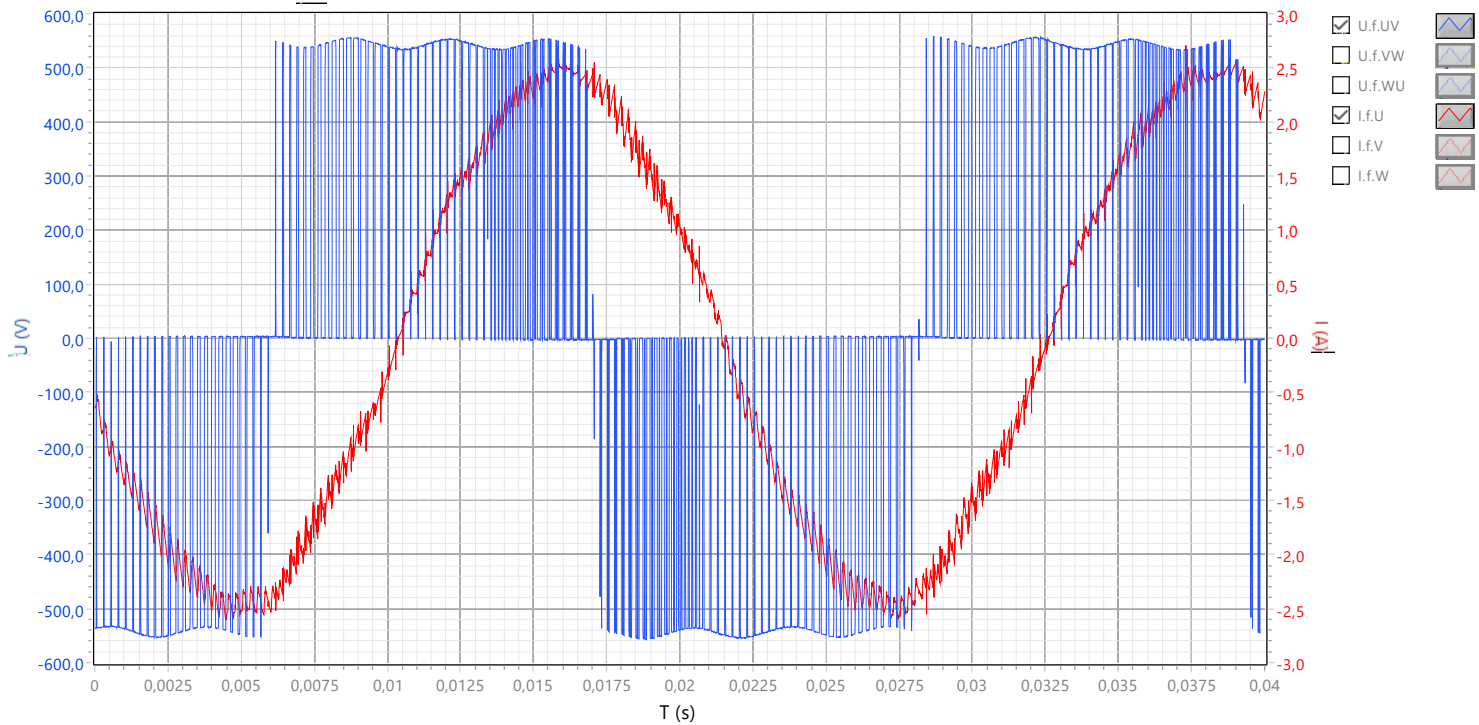
360,5 V (H01)/ 45,0 Hz / 4,934 Nm / 0,6723 kW

with anti-aliasing filter 100kHz

WAVEFORM VIEW: converter



WAVEFORM VIEW: motor



Signature :

Fiala Petr

Test technician:

Fiala, Petr

| | | |
|------------------------------|---------------------------------------|--|
| Power output : 750,0W | Note : --- | Motor type : 1AV3083B |
| Voltage : 400,0V | Frequency : 50,00Hz | Order code : 1LE10030DB322A |
| Current : 1,750A | Speed : 1450/min | Report No.: M2280M-632-4N |
| Power factor : 0,750 | No. Poles : 4 | Specification : 58864011160022_D |
| Torque : 4,93Nm | Duty type : --- | Serial No.: 2021/9549 |
| Efficiency : 82,5% | Line connection : Y | Class of efficiency : IE3, Nema Premium |
| | Thermal class : F | |
| | Type of construction : IMB3 | |
| | Degree of protection : IP55 | |
| | Frame Size : 80M | |
| | Max. amb. temperature : 40,0°C | |

OVERVIEW OF USED MEASUREMENT DEVICES AND INTERMEDIATE CHECKS Page 1

Measurement devices for test

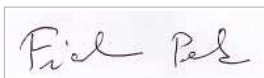
| No. of Test bench or Measurement tower | Inventory No. of Test bench or Measurement tower | Measurement of | Manufacturer | Model | Note_Name_Date |
|--|--|----------------|--------------|--|--|
| 7 | 5110203992 | Voltage | FLUKE | NORMA 4000, 3PP54 S. No. H6 23531BA | Manufacturer of this testing unit is ELCOM, that delivered whole measuring and evaluating technology. Calibration of electric measurement devices has been executed at another date then calibration of mechanic ones, by certificated subcontractors. |
| 7 | 5110203992 | Current | | | |
| 7 | 5110203992 | Electric power | | | |
| 7 | 5110203992 | Resistance | ELCOM | EVIP 150051-015 | |
| 7 | 5110203992 | Temperature | ELCOM | EVIP 150051-015 | |
| 7 | 5110203992 | Torque | Burster | 8661-5010-V0102 | |
| 7 | 5110203992 | Speed | ELCOM | EVIP 150051-015 | |
| ST2 | 5110204851 | Voltage | FLUKE | FLUKE NORMA 4000 | |
| ST2 | | Current | | Prod. No. F417284 BA | |
| ST2 | | Electric power | | Prod. No. F417282 BA | |
| ST2 | | Resistance | ELCOM | +ST2 | |

Another measurement device

| Measurement of | Manufacturer | Model | Serial No. | Note_Name_Date |
|-----------------------|-----------------|-----------------|---------------|--|
| Temperature | AHLBORN | Almemo 2590-4AS | H17030269 (1) | Needle probes: FTA122L0200H, FT0122L0200 |
| Temperature | AHLBORN | Almemo 2590-4AS | H17080824 (2) | Needle probes: FTA122L0200H, FT0122L0200 |
| Temperature | AHLBORN | Almemo 2590-4AS | H21050450 (3) | Needle probes: FTA150L0350H, FTA122L0200H |
| Temperature | AHLBORN | Almemo 2590-4AS | H21050451 (4) | Needle probes: FTA150L0350H, FTA122L0200H |
| Temperature | Fluke | Ti 32 | Ti32-13080425 | |
| Vibration | National Instr. | 9234 | 150D014 | With accelerometer Adash A102-1A (S. No. 1265) |
| High voltage | SPS Electronic | HA 3600D | 11053061 | |
| Insulation resistance | Chauvin Arnoux | C.A 6545 | 184598HMH | |

End of Test Report

Signature :



Test technician: Fiala, Petr

Page : 8/8

Parameter list (every point)

| Number | Description | 90/100 | 50/100 | 25/100 | 90/50 | 50/50 | 50/25 | 25/25 | |
|---------|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| p1300 | Open-loop/closed-loop control operating mode | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| p1802 | Modulator mode | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| r1809 | CO: Modulator mode actual | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | |
| p1803 | Maximum modulation depth | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | % |
| r0074 | CO: Modulation depth | 93.43 | 55.57 | 31.12 | 93.07 | 52.52 | 51.79 | 27.77 | % |
| p1800 | Pulse frequency setpoint | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | kHz |
| r1801 | CO: Pulse frequency | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | kHz |
| r0395 | Actual stator resistance | 9.90509 | 9.91901 | 9.93004 | 9.82514 | 9.76641 | 9.67909 | 9.62454 | Ω |
| r0396 | Actual rotor resistance | 4.71475 | 4.71766 | 4.71998 | 4.67799 | 4.64963 | 4.60157 | 4.55693 | Ω |
| r0070 | Actual DC link voltage | 545.6 | 547.5 | 546.6 | 551.4 | 555.2 | 553.3 | 554.2 | V |
| r0066 | CO: Output frequency | 45.01 | 26 | 14 | 44.51 | 25 | 24.5 | 12.5 | Hz |
| r0072 | CO: Output voltage | 361.1 | 213.5 | 120.3 | 357.2 | 205.6 | 201.7 | 108.4 | V |
| r0068 | CO: Absolute current actual value | 1.79 | 1.73 | 1.76 | 1.27 | 1.28 | 1.12 | 1.16 | A |
| r0082 | CO: Active power actual value | 0.73 | 0.44 | 0.23 | 0.38 | 0.22 | 0.11 | 0.06 | kW |
| r0063 | CO: Speed actual value | 1350.04 | 780.03 | 420.04 | 1335.02 | 750 | 734.99 | 375 | 1/min |
| r0080 | CO: Torque actual value | 5.09 | 4.99 | 5.01 | 2.68 | 2.6 | 1.34 | 1.31 | Nm |
| r0038 | Power factor smoothed | 0.77 | 0.79 | 0.85 | 0.55 | 0.57 | 0.37 | 0.42 | |
| r0071 | Maximum output voltage | 401.4 | 407 | 400.7 | 407.9 | 400.9 | 396.1 | 395.1 | V |
| r0035 | CO: Motor temperature | - | - | - | - | - | - | - | °C |
| r0037 | CO: Power unit temperatures | 48 | 49 | 49 | 48 | 48 | 48 | 47 | °C |
| r1315 | Voltage boost total | 15 | 15 | 15 | - | - | - | - | V |
| r0084 | CO: Flux actual value | 100.6 | 97.7 | 91 | 104.4 | 104.2 | 107.4 | 109.2 | % |
| r0027 | CO: Absolute actual current smoothed | 1.73 | 1.73 | 1.76 | 1.26 | 1.26 | 1.13 | 1.16 | A |
| r0082.1 | CO: Active power actual value: Smoothed with p0045 | 0.74 | 0.42 | 0.22 | 0.39 | 0.21 | 0.11 | 0.05 | kW |
| r0082.2 | CO: Active power actual value: Electrical power | 0.86 | 0.49 | 0.32 | 0.43 | 0.26 | 0.15 | 0.09 | kW |
| r0031 | Actual torque smoothed | 5.14 | 5.13 | 4.97 | 2.73 | 2.66 | 1.4 | 1.33 | Nm |
| p1570 | CO: Flux setpoint | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | % |
| p1810 | Modulator configuration | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| p1574 | Voltage reserve dynamic | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | V |
| p0076 | Id current | 0.99 | 0.98 | 0.89 | 1 | 1 | 1.06 | 1.09 | A |
| p0078 | Iq current | 1.44 | 1.48 | 1.55 | 0.76 | 0.76 | 0.36 | 0.36 | A |
| p0070 | Actual DC link voltage | 545.6 | 547.5 | 546.6 | 551.4 | 555.2 | 553.3 | 554.2 | V |
| p0026 | DC link voltage smoothed | 535.3 | 541.8 | 546.6 | 543.4 | 547.4 | 550.7 | 553.7 | V |

Parameter list (single time)

| Number | Description | | |
|--------|--|----------|-------------------|
| p0505 | Unit selection | 1 | |
| p0100 | IEC/NEMA motor standards | 0 | |
| r0204 | Power unit hardware properties | 8448 | |
| p0300 | Motor type selection | 1 | |
| p0301 | Motor code number selection | 0 | |
| p0304 | Rated motor voltage | 400 | V |
| p0305 | Rated motor current | 1,75 | A |
| p0307 | Rated motor power | 0,75 | kW |
| p0308 | Rated motor power factor | 0,75 | |
| p0309 | Rated motor efficiency | 0 | % |
| p0310 | Rated motor frequency | 50 | Hz |
| p0311 | Rated motor speed | 1450 | 1/min |
| p0320 | Motor rated magnetizing current | 1,066 | A |
| p0322 | Maximum motor speed | 0 | 1/min |
| r0331 | Actual motor magnetizing current | 1,066 | A |
| r0337 | Rated motor EMF | 318,34 | V |
| p0341 | Motor moment of inertia | 0,002127 | kg.m ² |
| p0342 | Ratio between the total and motor moment of inertia | 1 | |
| p0344 | Motor weight (for the thermal motor model) | 9,3 | kg |
| r0345 | Nominal motor starting time | 0,065 | s |
| p0350 | Motor stator resistance, cold | 6,26005 | Ω |
| p0352 | Cable resistance | 1,56501 | Ω |
| p0354 | Motor rotor resistance, cold | 4,90075 | Ω |
| p0356 | Motor stator leakage inductance | 48,82466 | mH |
| p0358 | Motor rotor leakage inductance | 53,17025 | mH |
| p0360 | Motor magnetizing inductance | 597,3923 | mH |
| r0374 | Motor rotor resistance, cold | 4,13241 | Ω |
| r0376 | Rated motor rotor resistance | 4,41551 | Ω |
| r0377 | Motor leakage inductance, total | 97,64932 | mH |
| r0382 | Motor magnetizing inductance transformed | 548,5676 | mH |
| r0384 | Motor rotor time constant | 133 | ms |
| r0386 | Motor stator leakage time constant | 8 | ms |
| p0362 | Motor saturation characteristic flux 1 | 60 | % |
| p0363 | Motor saturation characteristic flux 2 | 85 | % |
| p0364 | Motor saturation characteristic flux 3 | 115 | % |
| p0365 | Motor saturation characteristic flux 4 | 125 | % |
| p0366 | Motor saturation characteristic I_mag 1 | 50 | % |
| p0367 | Motor saturation characteristic I_mag 2 | 75 | % |
| p0368 | Motor saturation characteristic I_mag 3 | 150 | % |
| p0369 | Motor saturation characteristic I_mag 4 | 210 | % |
| p1310 | Voltage boost permanent | 50 | % |
| p1311 | Voltage boost at acceleration | 0 | % |
| p1320 | U/f control programmable characteristic frequency 1 | 0 | Hz |
| p1321 | U/f control programmable characteristic voltage 1 | 0 | V |
| p1322 | U/f control programmable characteristic frequency 2 | 0 | Hz |
| p1323 | U/f control programmable characteristic voltage 2 | 0 | V |
| p1324 | U/f control programmable characteristic frequency 3 | 0 | Hz |
| p1325 | U/f control programmable characteristic voltage 3 | 0 | V |
| p1326 | U/f control programmable characteristic frequency 4 | 50 | Hz |
| p1327 | U/f control programmable characteristic voltage 4 | 400 | V |
| p1460 | Speed controller P-gain adaption speed lower | 3 | |
| p1462 | Speed controller adaption speed lower | 128 | ms |
| p1470 | Speed controller encoderless operation P-gain | 3 | |
| p1472 | Speed controller encoderless operation integral time | 144 | ms |
| p1715 | Current controller P-gain | 0,185 | |
| p1717 | Current controller integral-action time | 8 | |
| p1825 | Converter valve threshold voltage | 0,6 | |
| p1828 | Compensation valve lockout time phase U | 0,39 | |
| p1580 | Efficiency optimization | 0 | % |

Address of the laboratory and place of test performance

Siemens s.r.o.
odštěpný závod Elektromotory Mohelnice
Zkušebna elektrických strojů
Nádražní 395/25, 789 85 Mohelnice
Czech Republic

Pages

8

Annex

2

Motor type

1AV3083B

Order code

1LE10030DB322A

Customer

Siemens AG
DI MC LVM R&D
Nádražní 25
789 85 Mohelnice
Czech republic

Head of laboratory

Rajčula Jiří

Call number

+420 583 47 2350

Date of measurement: start

10.05.2022

Date of approval and issue of the protocol

11.05.2022

Reference

Report No.

M2280M-642-4N

Date of measurement: end

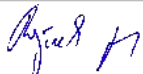
10.05.2022

The report must be reproduced only in full version and only with the permission of the laboratory.

index

| | |
|--|-----|
| System test - Title page | 1/8 |
| System test - Converter parameters | 2/8 |
| System test - Overview 60034-2-3 - PDS 90 - without filter | 3/8 |
| System test - Overview 60034-2-3 - PDS 90 - with anti-aliasing filter (100kHz) | 4/8 |
| System test - Temperature Recording - M2280M-642-4N Test-00-oteplovaci_zk_D_zapojeni_2022-05-10_10-06-57.Thr_ST_Record | 5/8 |
| System test - Winding Resistant - M2280M-642-4N Test-00-oteplovaci_zk_D_zapojeni_2022-05-10_10-06-57.Rhr_ST_Record | 6/8 |
| System test - Scope Recording - Test-00 | 7/8 |
| Used devices | 8/8 |
| Annex 1 - converter data - every point | |
| Annex 2 - converter data - single time | |

Approved by:



Rajčula Jiří
Test manager
11. 5. 2022

Tested by:



Fiala, Petr

| | | |
|------------------------------|---------------------------------------|--|
| Power output : 750,0W | Note : --- | Motor type : 1AV3083B |
| Voltage : 230,0V | Frequency : 50,00Hz | Order code : 1LE10030DB322A |
| Current : 3,050A | Speed : 1450/min | Report No.: M2280M-642-4N |
| Power factor : 0,750 | No. Poles : 4 | Specification : 58864011160022_D |
| Torque : 4,93Nm | Duty type : --- | Serial No.: 2021/9549 |
| Efficiency : 82,5% | Line connection : D | Class of efficiency : IE3, Nema Premium |
| | Thermal class : F | |
| | Type of construction : IMB3 | |
| | Degree of protection : IP55 | |
| | Frame Size : 80M | |
| | Max. amb. temperature : 40,0°C | |

| | | |
|--|--|-----------------------------------|
| Converter: | | |
| Converter type: Sinamics G120 PM240-2 | Power: 1,1 kW | Current input: 4,1 A |
| Order number: 6SL3210-1PE13-2UL1 | Voltage input: 380-480 V / 47-63 Hz | Current output: 3,1 A |
| SW: | Voltage output: 0-480 V | Degree of protection: IP20 |
| | | Weight: 1,4 kg |
| Control Unit: | | |
| Type: CU 250S-2 PN (1) | Order number: 6SL3246-0BA22-1FA0 | Firmware version: |



| | | | | |
|------------|---|--|-----------------------------------|------|
| ⊕ p300[0] | M | Motor type selection | [1] Induction motor | |
| ⊕ p304[0] | M | Rated motor voltage | 230 | Vrms |
| ⊕ p305[0] | M | Rated motor current | 3.05 | Arms |
| ⊕ p307[0] | M | Rated motor power | 0.75 | kW |
| ⊕ p310[0] | M | Rated motor frequency | 50.00 | Hz |
| ⊕ p311[0] | M | Rated motor speed | 1450.0 | rpm |
| p500 | | Technology application | [0] Standard drive | |
| ⊕ p1800[0] | D | Pulse frequency setpoint | 4.000 | kHz |
| ⊕ p1300[0] | D | Open-loop/closed-loop control operating mode | [0] U/f control with linear ch... | |
| ⊕ p1802[0] | D | Modulator mode | [0] Automatic changeover S... | |
| ⊕ p1574[0] | D | Voltage reserve dynamic | 10.0 | Vrms |
| ⊕ p1803[0] | D | Maximum modulation depth | 106.0 | % |

| | | |
|------------------|---|---|
| Signature : |  | Page : <input type="text" value="2/8"/> |
| Test technician: | Fiala, Petr | |

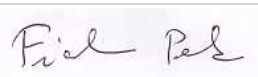
| | | | | | |
|----------------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------------|--------------------------|
| Power output : | 750,0W | Note : | --- | Motor type : | 1AV3083B |
| Voltage : | 230,0V | Frequency : | 50,00Hz | Thermal class : | F |
| Current : | 3,050A | Speed : | 1450/min | Type of construction : | IMB3 |
| Power factor : | 0,750 | No. Poles : | 4 | Degree of protection : | IP55 |
| Torque : | 4,93Nm | Duty type : | --- | Frame Size : | 80M |
| Efficiency : | 82,5% | Line connection : | D | Max. amb. temperature : | 40,0°C |
| | | | | Order code : | 1LE10030DB322A |
| | | | | Report No.: | M2280M-642-4N |
| | | | | Specification: | 58864011160022_D |
| | | | | Serial No.: | 2021/9549 |
| | | | | Class of efficiency: | IE3, Nema Premium |

Overview of measured points of system test without filter

| | | nominal | 1 (90;100) | 2 (50;100) | 3 (25;100) | 4 (90;50) | 5 (50;50) | 6 (50;25) | 7 (25;25) |
|----------------------------|--------|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| U in | [V] | --,-- | 399,78 | 399,79 | 399,75 | 399,73 | 399,75 | 399,78 | 399,79 |
| f in | [Hz] | --,-- | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 |
| I in | [A] | --,-- | 1,7016 | 1,1353 | 0,77419 | 0,98581 | 0,67387 | 0,46848 | 0,34837 |
| P in | [W] | --,-- | 878,29 | 557,80 | 357,96 | 474,86 | 302,79 | 193,68 | 137,15 |
| f H01 | [Hz] | --,-- | 45,0 | 26,0 | 14,0 | 44,5 | 25,0 | 24,5 | 12,5 |
| U H01 | [V] | --,-- | 207,20 | 124,58 | 69,577 | 206,31 | 121,46 | 119,96 | 64,824 |
| I H01 1 | [A] | --,-- | 2,9981 | 2,9848 | 3,0222 | 2,1892 | 2,2274 | 2,0384 | 2,1242 |
| I H01 2 | [A] | --,-- | 3,0107 | 2,9974 | 3,0315 | 2,2021 | 2,2397 | 2,0529 | 2,1371 |
| I H01 3 | [A] | --,-- | 3,0008 | 2,9912 | 3,0301 | 2,1896 | 2,2304 | 2,0403 | 2,1284 |
| I H01 | [A] | --,-- | 3,0032 | 2,9911 | 3,0279 | 2,1936 | 2,2325 | 2,0438 | 2,1299 |
| P H01 | [W] | --,-- | 814,65 | 500,14 | 306,03 | 422,25 | 255,07 | 147,69 | 95,849 |
| cos φ H01 | [-] | --,-- | 0,756 | 0,775 | 0,839 | 0,539 | 0,543 | 0,348 | 0,401 |
| U rms | [V] | --,-- | 319,94 | 250,41 | 190,07 | 320,39 | 247,32 | 245,94 | 182,56 |
| I rms 1 | [A] | --,-- | 3,0256 | 3,0102 | 3,0457 | 2,2210 | 2,2575 | 2,0705 | 2,1518 |
| I rms 2 | [A] | --,-- | 3,0385 | 3,0237 | 3,0556 | 2,2352 | 2,2705 | 2,0855 | 2,1687 |
| I rms 3 | [A] | --,-- | 3,0267 | 3,0156 | 3,0523 | 2,2200 | 2,2585 | 2,0699 | 2,1574 |
| I rms | [A] | --,-- | 3,0303 | 3,0165 | 3,0512 | 2,2254 | 2,2622 | 2,0753 | 2,1593 |
| P rms | [W] | --,-- | 833,18 | 514,72 | 315,52 | 440,73 | 268,88 | 161,95 | 105,20 |
| Lambda | [-] | --,-- | 0,476 | 0,361 | 0,267 | 0,342 | 0,254 | 0,167 | 0,129 |
| n act | [/min] | --,-- | 1299,4 | 729,70 | 363,00 | 1311,3 | 727,80 | 724,36 | 365,01 |
| T act | [Nm] | --,-- | 4,9412 | 4,9409 | 4,9411 | 2,4726 | 2,4721 | 1,2349 | 1,2350 |
| P 2 | [W] | --,-- | 672,35 | 377,56 | 187,83 | 339,54 | 188,41 | 93,672 | 47,207 |
| I d | [A] | | | | | | | | |
| I q | [A] | | | | | | | | |
| U dc | [V] | | | | | | | | |
| T 1 | [°C] | --,-- | 61,2 | 61,3 | 61,2 | 60,4 | 59,1 | 58,4 | 57,9 |
| T 2 | [°C] | --,-- | 61,4 | 61,4 | 61,6 | 60,4 | 59,2 | 58,4 | 57,7 |
| T 3 | [°C] | --,-- | 61,2 | 61,2 | 61,4 | 60,1 | 58,8 | 58,0 | 57,4 |
| T 4 | [°C] | --,-- | 50,0 | 50,2 | 50,8 | 50,8 | 50,7 | 50,8 | 50,8 |
| T 5 | [°C] | --,-- | 51,0 | 51,4 | 52,0 | 51,8 | 51,6 | 51,5 | 51,5 |
| T 6 | [°C] | --,-- | 42,6 | 43,5 | 45,2 | 43,9 | 44,0 | 44,5 | 45,3 |
| T 7 | [°C] | --,-- | 48,6 | 48,9 | 49,2 | 49,3 | 49,3 | 49,5 | 49,5 |
| T 8 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 9 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 10 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 11 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 12 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 13 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 14 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 15 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 16 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T amb 1 | [°C] | --,-- | 29,4 | 29,4 | 29,4 | 29,3 | 29,3 | 29,4 | 29,4 |
| T amb 2 | [°C] | --,-- | 28,9 | 28,9 | 28,8 | 28,8 | 28,8 | 28,9 | 28,9 |
| η converter | [%] | | 94,86 | 92,28 | 88,14 | 92,81 | 88,80 | 83,62 | 76,70 |
| η motor | [%] | --,-- | 80,70 | 73,35 | 59,53 | 77,04 | 70,07 | 57,84 | 44,87 |
| η system | [%] | | 76,55 | 67,69 | 52,47 | 71,50 | 62,22 | 48,37 | 34,42 |
| U out / U in | [-] | | 0,52 | 0,31 | 0,17 | 0,52 | 0,30 | 0,30 | 0,16 |

Note: The calculation above does not contain the measurement uncertainty.

Signature :



Test technician:

Fiala, Petr

Page : 3/8

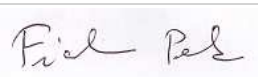
| | | | | | |
|----------------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------------|--------------------------|
| Power output : | 750,0W | Note : | --- | Motor type : | 1AV3083B |
| Voltage : | 230,0V | Frequency : | 50,00Hz | Thermal class : | F |
| Current : | 3,050A | Speed : | 1450/min | Type of construction : | IMB3 |
| Power factor : | 0,750 | No. Poles : | 4 | Degree of protection : | IP55 |
| Torque : | 4,93Nm | Duty type : | --- | Frame Size : | 80M |
| Efficiency : | 82,5% | Line connection : | D | Max. amb. temperature : | 40,0°C |
| | | | | Order code : | 1LE10030DB322A |
| | | | | Report No.: | M2280M-642-4N |
| | | | | Specification: | 58864011160022_D |
| | | | | Serial No.: | 2021/9549 |
| | | | | Class of efficiency: | IE3, Nema Premium |

Overview of measured points of system test with anti-aliasing filter 100kHz

| | | nominal | 1 (90;100) | 2 (50;100) | 3 (25;100) | 4 (90;50) | 5 (50;50) | 6 (50;25) | 7 (25;25) |
|----------------------------|--------|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| U in | [V] | --,-- | 399,75 | 399,77 | 399,76 | 399,75 | 399,78 | 399,73 | 399,76 |
| f in | [Hz] | --,-- | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 |
| I in | [A] | --,-- | 1,7003 | 1,1351 | 0,77421 | 0,98654 | 0,67386 | 0,46838 | 0,34802 |
| P in | [W] | --,-- | 878,21 | 557,83 | 357,97 | 474,80 | 302,74 | 193,69 | 137,11 |
| f H01 | [Hz] | --,-- | 45,0 | 26,0 | 14,0 | 44,5 | 25,0 | 24,5 | 12,5 |
| U H01 | [V] | --,-- | 207,28 | 124,67 | 69,595 | 206,37 | 121,50 | 119,99 | 64,835 |
| I H01 1 | [A] | --,-- | 2,9978 | 2,9848 | 3,0224 | 2,1891 | 2,2278 | 2,0388 | 2,1252 |
| I H01 2 | [A] | --,-- | 3,0109 | 2,9974 | 3,0322 | 2,2018 | 2,2401 | 2,0530 | 2,1361 |
| I H01 3 | [A] | --,-- | 3,0005 | 2,9908 | 3,0304 | 2,1899 | 2,2309 | 2,0406 | 2,1295 |
| I H01 | [A] | --,-- | 3,0031 | 2,9910 | 3,0283 | 2,1936 | 2,2329 | 2,0441 | 2,1303 |
| P H01 | [W] | --,-- | 814,96 | 500,57 | 306,17 | 422,30 | 255,15 | 147,85 | 95,885 |
| cos φ H01 | [-] | --,-- | 0,756 | 0,775 | 0,839 | 0,539 | 0,543 | 0,348 | 0,401 |
| U rms | [V] | --,-- | 312,19 | 240,41 | 176,58 | 312,67 | 237,19 | 235,70 | 168,59 |
| I rms 1 | [A] | --,-- | 3,0051 | 2,9900 | 3,0255 | 2,1953 | 2,2318 | 2,0419 | 2,1271 |
| I rms 2 | [A] | --,-- | 3,0181 | 3,0025 | 3,0354 | 2,2079 | 2,2441 | 2,0561 | 2,1381 |
| I rms 3 | [A] | --,-- | 3,0078 | 2,9960 | 3,0336 | 2,1961 | 2,2349 | 2,0437 | 2,1313 |
| I rms | [A] | --,-- | 3,0104 | 2,9962 | 3,0315 | 2,1998 | 2,2369 | 2,0472 | 2,1322 |
| P rms | [W] | --,-- | 831,48 | 513,05 | 313,87 | 438,72 | 267,26 | 160,26 | 103,23 |
| lambda | [-] | --,-- | 0,490 | 0,375 | 0,282 | 0,353 | 0,265 | 0,174 | 0,136 |
| n act | [/min] | --,-- | 1299,4 | 729,70 | 362,98 | 1311,4 | 727,80 | 724,35 | 365,03 |
| T act | [Nm] | --,-- | 4,9411 | 4,9408 | 4,9413 | 2,4723 | 2,4721 | 1,2349 | 1,2348 |
| P 2 | [W] | --,-- | 672,35 | 377,55 | 187,83 | 339,50 | 188,41 | 93,670 | 47,203 |
| I d | [A] | | | | | | | | |
| I q | [A] | | | | | | | | |
| U dc | [V] | | | | | | | | |
| T 1 | [°C] | --,-- | 61,2 | 61,3 | 61,6 | 59,9 | 59,0 | 58,3 | 57,6 |
| T 2 | [°C] | --,-- | 61,4 | 61,4 | 61,6 | 60,3 | 59,1 | 58,3 | 57,7 |
| T 3 | [°C] | --,-- | 61,2 | 61,3 | 61,5 | 59,9 | 58,8 | 57,9 | 57,3 |
| T 4 | [°C] | --,-- | 50,0 | 50,3 | 50,9 | 50,8 | 50,8 | 50,8 | 50,8 |
| T 5 | [°C] | --,-- | 51,0 | 51,4 | 52,0 | 51,7 | 51,7 | 51,5 | 51,5 |
| T 6 | [°C] | --,-- | 42,6 | 43,7 | 45,5 | 43,8 | 44,1 | 44,5 | 45,6 |
| T 7 | [°C] | --,-- | 48,6 | 49,0 | 49,3 | 49,3 | 49,4 | 49,5 | 49,6 |
| T 8 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 9 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 10 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 11 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 12 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 13 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 14 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 15 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 16 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T amb 1 | [°C] | --,-- | 29,4 | 29,4 | 29,4 | 29,3 | 29,4 | 29,4 | 29,4 |
| T amb 2 | [°C] | --,-- | 28,9 | 28,8 | 28,8 | 28,8 | 28,8 | 28,9 | 28,9 |
| η converter | [%] | | 94,68 | 91,97 | 87,68 | 92,40 | 88,28 | 82,74 | 75,29 |
| η motor | [%] | --,-- | 80,86 | 73,59 | 59,84 | 77,39 | 70,50 | 58,45 | 45,73 |
| η system | [%] | | 76,56 | 67,68 | 52,47 | 71,50 | 62,24 | 48,36 | 34,43 |
| U out / U in | [-] | | 0,52 | 0,31 | 0,17 | 0,52 | 0,30 | 0,30 | 0,16 |

Note: The calculation above does not contain the measurement uncertainty.

Signature :



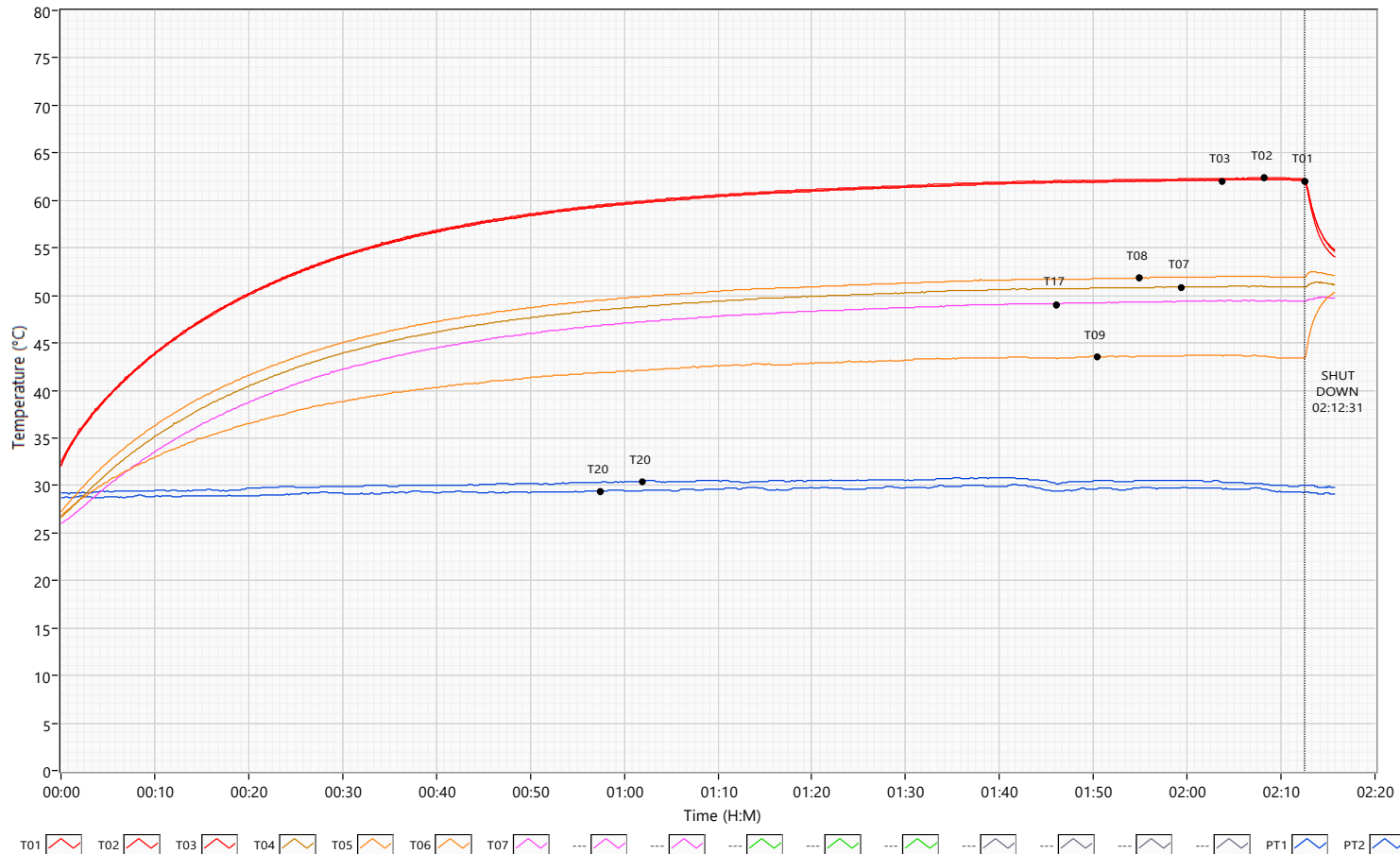
Test technician:

Fiala, Petr

| | | |
|------------------------------|----------------------------|--|
| Power output : 750,0W | Note : --- | Motor type : 1AV3083B |
| Voltage : 230,0V | Frequency : 50,00Hz | Order code : 1LE10030DB322A |
| Current : 3,050A | Speed : 1450/min | Report No.: M2280M-642-4N |
| Power factor : 0,750 | No. Poles : 4 | Specification : 58864011160022_D |
| Torque : 4,93Nm | Duty type : --- | Frame Size : 80M |
| Efficiency : 82,5% | Line connection : D | Max. amb. temperature : 40,0°C |
| | | Class of efficiency : IE3, Nema Premium |

207,2 V (H01)/ 45,0 Hz / 4,936 Nm / 0,6716 kW

TEMPERATURES COURSE CHARACTERISTIC during heat run test



Overview of parameters of measured point

| | | -30 min | end |
|----------------------------|--------|---------------|---------------|
| U in | [V] | 399,78 | 399,74 |
| I in | [A] | 1,6996 | 1,6991 |
| P in | [W] | 877,60 | 877,49 |
| f H01 | [Hz] | 45,0 | 45,0 |
| U H01 | [V] | 207,24 | 207,24 |
| I H01 | [A] | 3,0018 | 3,0008 |
| P H01 | [W] | 814,24 | 814,09 |
| cos φ H01 | [-] | 0,756 | 0,756 |
| U rms | [V] | 319,90 | 319,93 |
| I rms 1 | [A] | 3,0240 | 3,0232 |
| I rms 2 | [A] | 3,0385 | 3,0377 |
| I rms 3 | [A] | 3,0235 | 3,0227 |
| I rms | [A] | 3,0287 | 3,0279 |
| P rms | [W] | 832,59 | 832,37 |
| Lambda | [-] | 0,476 | 0,476 |
| n act | [/min] | 1299,4 | 1299,3 |
| T act | [Nm] | 4,9362 | 4,9360 |
| P 2 | [W] | 671,67 | 671,61 |
| η converter | [%] | 94,87 | 94,86 |
| η motor | [%] | 80,67 | 80,69 |
| η system | [%] | 76,54 | 76,54 |
| U out / U in | [-] | 0,52 | 0,52 |

MEASURED TABLE of the temperatures in steady state

| Place of measuring (TXX - thermal spot) | Steady temperature before ShutDown (°C) | Temperature rise (K) | Max. Temp. after ShutDown (°C) | Temp. rise (K) from max. temp. |
|---|---|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| TC01 = T01 - Winding overhang DS (U) | 62,2 | 32,6 | 62,1 | 32,7 |
| TC02 = T02 - Winding overhang DS (V) | 62,3 | 32,7 | 62,3 | 32,8 |
| TC03 = T03 - Winding overhang DS (W) | 62,1 | 32,5 | 62,1 | 32,6 |
| TC04 = T07 - Housing DS | 50,9 | 21,3 | 51,4 | 21,8 |
| TC05 = T08 - Housing (middle) | 51,9 | 22,3 | 52,5 | 22,9 |
| TC06 = T09 - Housing NDS | 43,4 | 13,8 | 50,3 | 20,7 |
| TC07 = T17 - Outer bearing ring DS | 49,4 | 19,8 | 49,8 | 20,2 |
| TC08 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC09 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC10 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC11 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC12 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC13 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC14 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC15 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC16 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC17 = T20 - Ambient temperature | 29,9 | --- | --- | --- |
| TC18 = T20 - Ambient temperature | 29,3 | --- | --- | --- |

Signature :

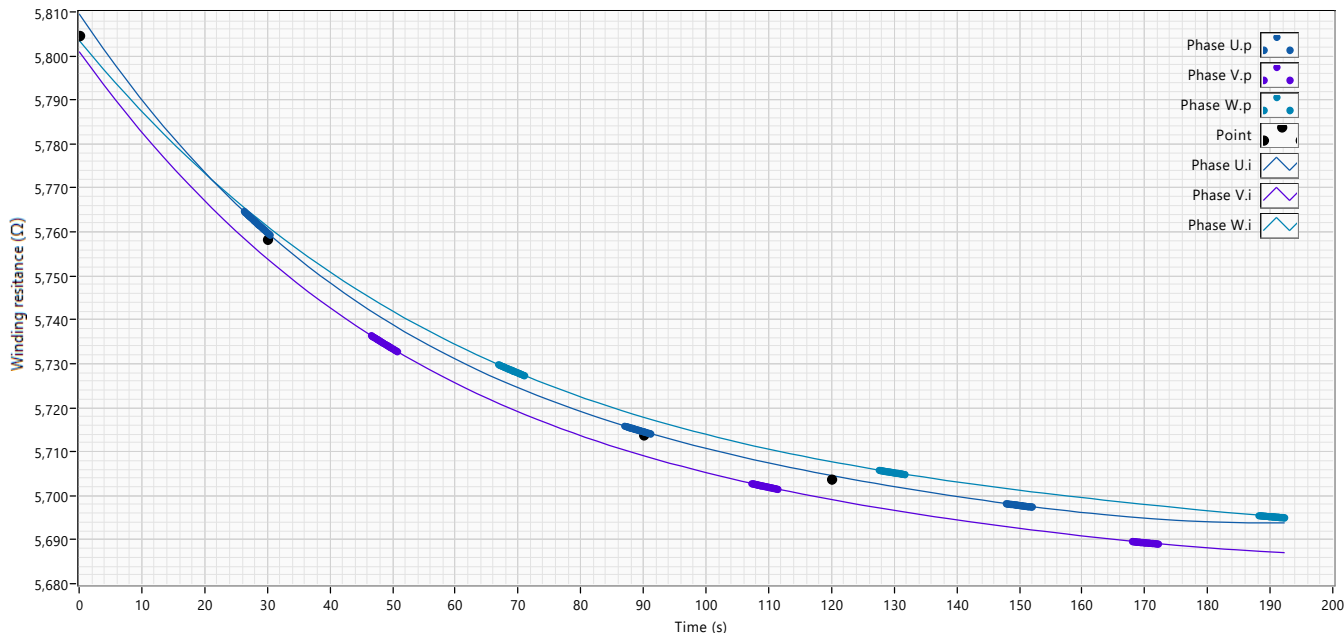
Test engineer : Fiala, Petr

Page : 5/8

| | | |
|------------------------------|----------------------------|--|
| Power output : 750,0W | Note : --- | Motor type : 1AV3083B |
| Voltage : 230,0V | Frequency : 50,00Hz | Order code : 1LE10030DB322A |
| Current : 3,050A | Speed : 1450/min | Report No. : M2280M-642-4N |
| Power factor : 0,750 | No. Poles : 4 | Specification : 58864011160022_D |
| Torque : 4,93Nm | Duty type : --- | Frame Size : 80M |
| Efficiency : 82,5% | Line connection : D | Max. amb. temperature : 40,0°C |
| | | Class of efficiency : IE3, Nema Premium |

207,2 V (H01)/ 45,0 Hz / 4,936 Nm / 0,6716 kW

WINDING RESISTANCE CHARACTERISTIC after heat run test



Calculated values of winding resistance (example according IEC)

| | | | | | | | |
|--|---------------------|----------------|----------------|----------------|--|--|--|
| Cold Winding | Ambient temperature | Resistance U-V | Resistance V-W | Resistance W-U | Resistance Rs AVG Cold | Rise temperature calculated for cold ambient temperature | |
| | 25,2°C | 5,11837Ω | 5,11403Ω | 5,12056Ω | 5,11765Ω | 34,9K | |
| Cold Winding at nominal ambient temperature | Ambient temperature | Resistance U-V | Resistance V-W | Resistance W-U | Resistance Rs AVG HeatRun | | |
| | 20,0°C | 5,01583Ω | 5,01158Ω | 5,01798Ω | 5,01513Ω | | |
| | Ambient temperature | Resistance U-V | Resistance V-W | Resistance W-U | Resistance Rs AVG Cold | Resistance Rf AVG Cold | Winding Connection |
| | 25,0°C | 5,11418Ω | 5,10984Ω | 5,11637Ω | 5,11347Ω | 7,67020Ω | D |
| After Heat Run | Ambient temperature | Resistance U-V | Resistance V-W | Resistance W-U | Resistance Rs AVG HeatRun | Rise temperature calculated for heat run ambient temperature | Winding temperature after Heat run |
| | 29,4°C | 5,80958Ω | 5,80096Ω | 5,80350Ω | 5,80468Ω | 30,7K | 60,1°C |
| After Heat Run at nominal ambient temperature | Ambient temperature | Resistance U-V | Resistance V-W | Resistance W-U | Resistance Rs AVG HeatRun at nominal ambient temperature | | Winding temperature after HeatRun at t25 |
| | 20,0°C | 5,62429Ω | 5,61583Ω | 5,61813Ω | 5,61942Ω | | 55,7°C |
| | Ambient temperature | Resistance U-V | Resistance V-W | Resistance W-U | Resistance Rs AVG HeatRun at nominal ambient temperature | | |
| | 25,0°C | 5,72264Ω | 5,71409Ω | 5,71652Ω | 5,71775Ω | | |

MEASURED TABLE of the resistance values IEC

| | 0s | 30s | 90s | 120s |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ambient temperature (°C) * | 29,4 | 29,4 | 29,4 | 29,4 |
| Resistance U-V (Ω) | 5,8096 | 5,7598 | 5,7146 | 5,7046 |
| Rise of temperature U-V (K) | 30,93 | 28,41 | 26,11 | 25,60 |
| Resistance V-W (Ω) | 5,8010 | 5,7539 | 5,7091 | 5,6991 |
| Rise of temperature V-W (K) | 30,75 | 28,35 | 26,07 | 25,56 |
| Resistance W-U (Ω) | 5,8035 | 5,7613 | 5,7178 | 5,7077 |
| Rise of temperature W-U (K) | 30,50 | 28,35 | 26,15 | 25,63 |
| Resistance avg (Ω) | 5,8047 | 5,7583 | 5,7138 | 5,7038 |
| Rise of temperature, avg (K) | 30,73 | 28,37 | 26,11 | 25,60 |
| Winding temperature (°C) | 60,15 | 57,79 | 55,53 | 55,02 |

Temperature Rise is calculated using constant of resistance:

IEC - Pure cooper K=235, aluminium K=225

Determination temperature Rise and winding resistance for efficiency calculation:

IEC - standard at 0s, optionally at 30s after shutdown

* average of the measured values

Signature :

Test engineer : Fiala, Petr

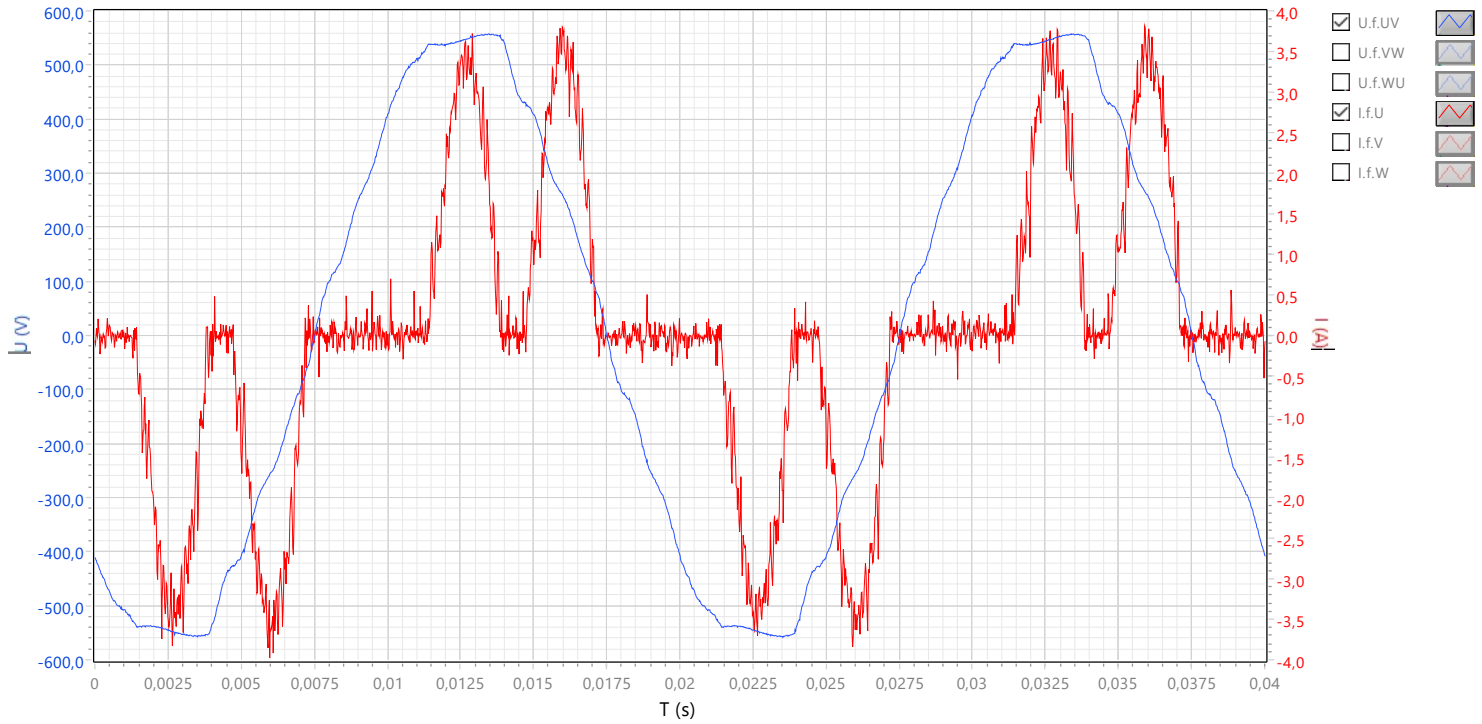
Page : 6/8

| | | |
|------------------------------|----------------------------|--|
| Power output : 750,0W | Note : --- | Motor type : 1AV3083B |
| Voltage : 230,0V | Frequency : 50,00Hz | Order code : 1LE10030DB322A |
| Current : 3,050A | Speed : 1450/min | Report No.: M2280M-642-4N |
| Power factor : 0,750 | No. Poles : 4 | Specification : 58864011160022_D |
| Torque : 4,93Nm | Duty type : --- | Frame Size : 80M |
| Efficiency : 82,5% | Line connection : D | Max. amb. temperature : 40,0°C |
| | | Class of efficiency : IE3, Nema Premium |

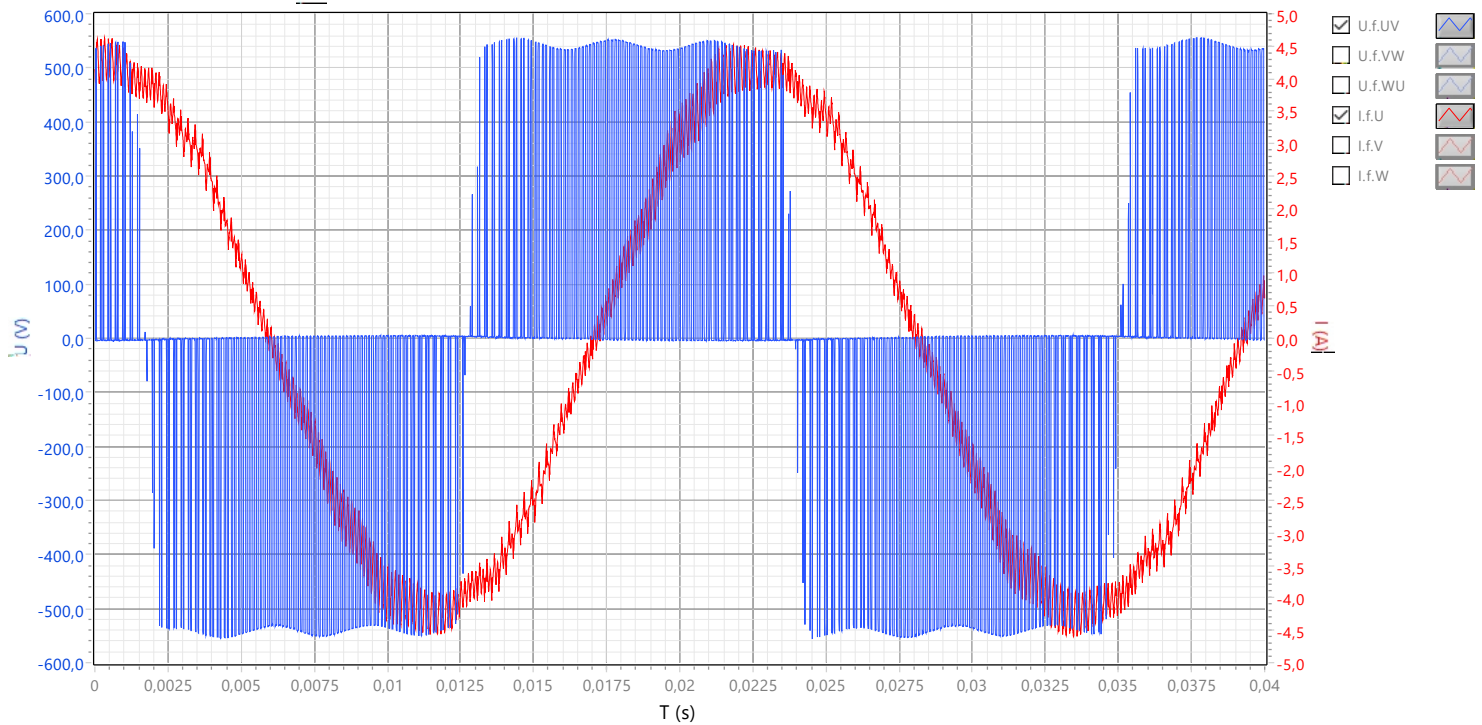
207,2 V (H01)/ 45,0 Hz / 4,936 Nm / 0,6716 kW

with anti-aliasing filter 100kHz

WAVEFORM VIEW: converter



WAVEFORM VIEW: motor



Signature :

Test technician: Fiala, Petr

Page : 7/8

| | | |
|------------------------------|----------------------------|--|
| Power output : 750,0W | Note : --- | Motor type : 1AV3083B |
| Voltage : 230,0V | Frequency : 50,00Hz | Order code : 1LE10030DB322A |
| Current : 3,050A | Speed : 1450/min | Report No.: M2280M-642-4N |
| Power factor : 0,750 | No. Poles : 4 | Specification : 58864011160022_D |
| Torque : 4,93Nm | Duty type : --- | Frame Size : 80M |
| Efficiency : 82,5% | Line connection : D | Max. amb. temperature : 40,0°C |
| | | Class of efficiency : IE3, Nema Premium |

| OVERVIEW OF USED MEASUREMENT DEVICES AND INTERMEDIATE CHECKS | | | | | Page 1 |
|--|--|-----------------|---------------|--|--|
| Measurement devices for test | | | | | |
| No. of Test bench or Measurement tower | Inventory No. of Test bench or Measurement tower | Measurement of | Manufacturer | Model | Note_Name_Date |
| 7 | 5110203992 | Voltage | FLUKE | NORMA 4000, 3PP54 S. No. H6 23531BA | Manufacturer of this testing unit is ELCOM, that delivered whole measuring and evaluating technology. Calibration of electric measurement devices has been executed at another date then calibration of mechanic ones, by certificated subcontractors. |
| 7 | 5110203992 | Current | | | |
| 7 | 5110203992 | Electric power | | | |
| 7 | 5110203992 | Resistance | ELCOM | EVIP 150051-015 | |
| 7 | 5110203992 | Temperature | ELCOM | EVIP 150051-015 | |
| 7 | 5110203992 | Torque | Burster | 8661-5010-V0102 | |
| 7 | 5110203992 | Speed | ELCOM | EVIP 150051-015 | |
| ST2 | 5110204851 | Voltage | FLUKE | FLUKE NORMA 4000 | |
| ST2 | | Current | | Prod. No. F417284 BA | |
| ST2 | | Electric power | | Prod. No. F417282 BA | |
| ST2 | | Resistance | ELCOM | +ST2 | |
| Another measurement device | | | | | |
| Measurement of | Manufacturer | Model | Serial No. | Note_Name_Date | |
| Temperature | AHLBORN | Almemo 2590-4AS | H17030269 (1) | Needle probes: FTA122L0200H, FT0122L0200 | |
| Temperature | AHLBORN | Almemo 2590-4AS | H17080824 (2) | Needle probes: FTA122L0200H, FT0122L0200 | |
| Temperature | AHLBORN | Almemo 2590-4AS | H21050450 (3) | Needle probes: FTA150L0350H, FTA122L0200H | |
| Temperature | AHLBORN | Almemo 2590-4AS | H21050451 (4) | Needle probes: FTA150L0350H, FTA122L0200H | |
| Temperature | Fluke | Ti 32 | Ti32-13080425 | | |
| Vibration | National Instr. | 9234 | 150D014 | With accelerometer Adash A102-1A (S. No. 1265) | |
| High voltage | SPS Electronic | HA 3600D | 11053061 | | |
| Insulation resistance | Chauvin Arnoux | C.A 6545 | 184598HMH | | |

End of Test Report

| | | |
|------------------|---|------------|
| Signature : |  | Page : 8/8 |
| Test technician: | Fiala, Petr | |

Parameter list (every point)

| Number | Description | 90/100 | 50/100 | 25/100 | 90/50 | 50/50 | 50/25 | 25/25 | |
|---------|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| p1300 | Open-loop/closed-loop control operating mode | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| p1802 | Modulator mode | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| r1809 | CO: Modulator mode actual | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| p1803 | Maximum modulation depth | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | % |
| r0074 | CO: Modulation depth | 54,83 | 32,71 | 18,9 | 53,99 | 31,46 | 31,15 | 16,93 | % |
| p1800 | Pulse frequency setpoint | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | kHz |
| r1801 | CO: Pulse frequency | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | kHz |
| r0395 | Actual stator resistance | 3,00908 | 3,00908 | 3,00908 | 3,00908 | 3,00908 | 3,00908 | 3,00908 | Ω |
| r0396 | Actual rotor resistance | 1,43825 | 1,43825 | 1,43825 | 1,43825 | 1,43825 | 1,43825 | 1,43825 | Ω |
| r0070 | Actual DC link voltage | 534,2 | 544,7 | 545,6 | 552,3 | 554,2 | 552,3 | 553,3 | V |
| r0066 | CO: Output frequency | 45 | 26 | 14 | 44,5 | 25 | 24,5 | 12,5 | Hz |
| r0072 | CO: Output voltage | 209,2 | 126,9 | 72,3 | 207,1 | 122,4 | 120,2 | 65,4 | V |
| r0068 | CO: Absolute current actual value | 3,03 | 2,98 | 3,04 | 2,2 | 2,21 | 1,99 | 2,17 | A |
| r0082 | CO: Active power actual value | 0,8 | 0,46 | 0,25 | 0,44 | 0,24 | 0,14 | 0,07 | kW |
| r0063 | CO: Speed actual value | 1349,95 | 779,94 | 419,95 | 1334,93 | 750 | 734,99 | 375 | 1/min |
| r0080 | CO: Torque actual value | 5,74 | 5,54 | 5,58 | 3,15 | 3,03 | 1,67 | 1,74 | Nm |
| r0038 | Power factor smoothed | 0,81 | 0,81 | 0,87 | 0,61 | 0,6 | 0,41 | 0,46 | |
| r0071 | Maximum output voltage | 401,9 | 406,2 | 401,1 | 407 | 401,3 | 397,9 | 394,5 | V |
| r0035 | CO: Motor temperature | - | - | - | - | - | - | - | °C |
| r0037 | CO: Power unit temperatures | 80 | 80 | 80 | 78 | 77 | 76 | 76 | °C |
| r1315 | Voltage boost total | 7,90 | 7,90 | 7,90 | 7,90 | 7,90 | 7,90 | 7,90 | V |
| r0084 | CO: Flux actual value | 104,9 | 105 | 101,2 | 107,2 | 109,6 | 111,9 | 114,9 | % |
| r0027 | CO: Absolute actual current smoothed | 3,01 | 2,99 | 3,04 | 2,19 | 2,23 | 2,04 | 2,13 | A |
| r0082.1 | CO: Active power actual value: Smoothed with p0045 | 0,8 | 0,45 | 0,24 | 0,44 | 0,24 | 0,13 | 0,07 | kW |
| r0082.2 | CO: Active power actual value: Electrical power | 0,89 | 0,54 | 0,31 | 0,42 | 0,26 | 0,15 | 0,1 | kW |
| r0031 | Actual torque smoothed | 5,7 | 5,57 | 5,59 | 3,14 | 3,02 | 1,78 | 1,79 | Nm |
| p1570 | CO: Flux setpoint | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | % |
| p1810 | Modulator configuration | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| p1574 | Voltage reserve dynamic | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | V |
| p0076 | Id current | 1,28 | 1,31 | 1,22 | 1,64 | 1,72 | 1,86 | 1,94 | A |
| p0078 | Iq current | 2,71 | 2,67 | 2,69 | 1,46 | 1,4 | 0,81 | 0,72 | A |
| p0070 | Actual DC link voltage | 534,2 | 544,7 | 545,6 | 552,3 | 554,2 | 552,3 | 553,3 | V |
| p0026 | DC link voltage smoothed | 534,2 | 541,2 | 545,5 | 543 | 546,6 | 549,7 | 551,7 | V |

Parameter list (single time)

| Number | Description | | |
|--------|--|----------|-------------------|
| p0505 | Unit selection | 1 | |
| p0100 | IEC/NEMA motor standards | 0 | |
| r0204 | Power unit hardware properties | 8448 | |
| p0300 | Motor type selection | 1 | |
| p0301 | Motor code number selection | 0 | |
| p0304 | Rated motor voltage | 230 | V |
| p0305 | Rated motor current | 3,05 | A |
| p0307 | Rated motor power | 0,75 | kW |
| p0308 | Rated motor power factor | 0,75 | |
| p0309 | Rated motor efficiency | 0 | % |
| p0310 | Rated motor frequency | 50 | Hz |
| p0311 | Rated motor speed | 1450 | 1/min |
| p0320 | Motor rated magnetizing current | 1,783 | A |
| p0322 | Maximum motor speed | 0 | 1/min |
| r0331 | Actual motor magnetizing current | 1,783 | A |
| r0337 | Rated motor EMF | 180,83 | V |
| p0341 | Motor moment of inertia | 0,002127 | kg.m ² |
| p0342 | Ratio between the total and motor moment of inertia | 1 | |
| p0344 | Motor weight (for the thermal motor model) | 9,3 | kg |
| r0345 | Nominal motor starting time | 0,065 | s |
| p0350 | Motor stator resistance, cold | 2,33287 | Ω |
| p0352 | Cable resistance | 0,58322 | Ω |
| p0354 | Motor rotor resistance, cold | 1,70935 | Ω |
| p0356 | Motor stator leakage inductance | 16,80826 | mH |
| p0358 | Motor rotor leakage inductance | 18,32401 | mH |
| p0360 | Motor magnetizing inductance | 203,1964 | mH |
| r0374 | Motor rotor resistance, cold | 1,43825 | Ω |
| r0376 | Rated motor rotor resistance | 1,40636 | Ω |
| r0377 | Motor leakage inductance, total | 33,61652 | mH |
| r0382 | Motor magnetizing inductance transformed | 186,3881 | mH |
| r0384 | Motor rotor time constant | 130 | ms |
| r0386 | Motor stator leakage time constant | 7,6 | ms |
| p0362 | Motor saturation characteristic flux 1 | 60 | % |
| p0363 | Motor saturation characteristic flux 2 | 85 | % |
| p0364 | Motor saturation characteristic flux 3 | 115 | % |
| p0365 | Motor saturation characteristic flux 4 | 125 | % |
| p0366 | Motor saturation characteristic I_mag 1 | 50 | % |
| p0367 | Motor saturation characteristic I_mag 2 | 75 | % |
| p0368 | Motor saturation characteristic I_mag 3 | 150 | % |
| p0369 | Motor saturation characteristic I_mag 4 | 210 | % |
| p1310 | Voltage boost permanent | 50 | % |
| p1311 | Voltage boost at acceleration | 0 | % |
| p1320 | U/f control programmable characteristic frequency 1 | 0 | Hz |
| p1321 | U/f control programmable characteristic voltage 1 | 0 | V |
| p1322 | U/f control programmable characteristic frequency 2 | 0 | Hz |
| p1323 | U/f control programmable characteristic voltage 2 | 0 | V |
| p1324 | U/f control programmable characteristic frequency 3 | 0 | Hz |
| p1325 | U/f control programmable characteristic voltage 3 | 0 | V |
| p1326 | U/f control programmable characteristic frequency 4 | 50 | Hz |
| p1327 | U/f control programmable characteristic voltage 4 | 230 | V |
| p1460 | Speed controller P-gain adaption speed lower | 3 | |
| p1462 | Speed controller adaption speed lower | 128 | ms |
| p1470 | Speed controller encoderless operation P-gain | 3 | |
| p1472 | Speed controller encoderless operation integral time | 144 | ms |
| p1715 | Current controller P-gain | 0,193 | |
| p1717 | Current controller integral-action time | 7,6 | |
| p1825 | Converter valve threshold voltage | 0,8 | |
| p1828 | Compensation valve lockout time phase U | 0,35 | |
| p1580 | Efficiency optimization | 0 | % |

Address of the laboratory and place of test performance

Siemens s.r.o.
odštěpný závod Elektromotory Mohelnice
Zkušebna elektrických strojů
Nádražní 395/25, 789 85 Mohelnice
Czech Republic

Pages

8

Annex

2

Motor type

1AV3083B

Order code

1LE10030DB322A

Customer

Siemens AG
DI MC LVM R&D
Nádražní 25
789 85 Mohelnice
Czech republic

Head of laboratory

Rajčula Jiří

Call number

+420 583 47 2350

Date of measurement: start

12.05.2022

Date of approval and issue of the protocol

13.05.2022

Reference

Report No.

M2280M-813-4N

Date of measurement: end

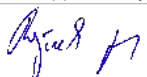
13.05.2022

The report must be reproduced only in full version and only with the permission of the laboratory.

index

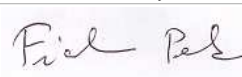
| | |
|--|-----|
| System test - Title page | 1/8 |
| System test - Converter parameters | 2/8 |
| System test - Overview 60034-2-3 - PDS 90 - without filter | 3/8 |
| System test - Overview 60034-2-3 - PDS 90 - with anti-aliasing filter (100kHz) | 4/8 |
| System test - Temperature Recording - M2280M-813-4N Test-00-oteplovaci_zk_230Vin_2022-05-13_06-57-28.Thr_ST_Record | 5/8 |
| System test - Winding Resistant - M2280M-813-4N Test-00-oteplovaci_zk_230Vin_2022-05-13_06-57-28.Rhr_ST_Record | 6/8 |
| System test - Scope Recording - Test-00 | 7/8 |
| Used devices | 8/8 |
| Annex 1 - converter data - every point | |
| Annex 2 - converter data - single time | |

Approved by:



Rajčula Jiří
Test manager
13. 5. 2022

Tested by:



Fiala, Petr

| | | |
|------------------------------|---------------------------------------|--|
| Power output : 750,0W | Note : --- | Motor type : 1AV3083B |
| Voltage : 230,0V | Frequency : 50,00Hz | Order code : 1LE10030DB322A |
| Current : 3,050A | Speed : 1450/min | Report No.: M2280M-813-4N |
| Power factor : 0,750 | No. Poles : 4 | Specification : 58864011160022_D |
| Torque : 4,93Nm | Duty type : --- | Frame Size : 80M |
| Efficiency : 82,5% | Line connection : D | Serial No.: 2021/9549 |
| | Thermal class : F | Class of efficiency : IE3, Nema Premium |
| | Type of construction : IMB3 | |
| | Degree of protection : IP55 | |
| | Max. amb. temperature : 40,0°C | |

| | | |
|--|--|-----------------------------------|
| Converter: | | |
| Converter type: Sinamics G120 PM240-2 | Power: 1,1 kW | Current input: 13,5/7,8 A |
| Order number: 6SL3210-1PB15-5UL0 | Voltage input: 1/3f AC 200-240 V / 47-63 Hz | Current output: 6 A |
| SW: _____ | Voltage output: 0-240 V | Degree of protection: IP20 |
| | | Weight: 2,8 kg |
| Control Unit: | | |
| Type: CU 250S-2 PN (1) | Order number: 6SL3246-0BA22-1FA0 | Firmware version: _____ |



| | | | | |
|------------|---|--|-----------------------------------|------|
| ⊕ p300[0] | M | Motor type selection | [1] Induction motor | |
| ⊕ p304[0] | M | Rated motor voltage | 230 | Vrms |
| ⊕ p305[0] | M | Rated motor current | 3.05 | Arms |
| ⊕ p307[0] | M | Rated motor power | 0.75 | kW |
| ⊕ p310[0] | M | Rated motor frequency | 50.00 | Hz |
| ⊕ p311[0] | M | Rated motor speed | 1450.0 | rpm |
| p500 | | Technology application | [0] Standard drive | |
| ⊕ p1800[0] | D | Pulse frequency setpoint | 4.000 | kHz |
| ⊕ p1300[0] | D | Open-loop/closed-loop control operating mode | [0] U/f control with linear ch... | |
| ⊕ p1802[0] | D | Modulator mode | [0] Automatic changeover S... | |
| ⊕ p1574[0] | D | Voltage reserve dynamic | 10.0 | Vrms |
| ⊕ p1803[0] | D | Maximum modulation depth | 106.0 | % |

| | | |
|------------------|-------------|---|
| Signature : | | Page : <input type="text" value="2/8"/> |
| Test technician: | Fiala, Petr | |

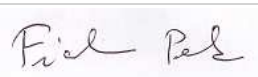
| | | | | | |
|----------------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------------|--------------------------|
| Power output : | 750,0W | Note : | --- | Motor type : | 1AV3083B |
| Voltage : | 230,0V | Frequency : | 50,00Hz | Thermal class : | F |
| Current : | 3,050A | Speed : | 1450/min | Type of construction : | IMB3 |
| Power factor : | 0,750 | No. Poles : | 4 | Degree of protection : | IP55 |
| Torque : | 4,93Nm | Duty type : | --- | Frame Size : | 80M |
| Efficiency : | 82,5% | Line connection : | D | Max. amb. temperature : | 40,0°C |
| | | | | Order code : | 1LE10030DB322A |
| | | | | Report No.: | M2280M-813-4N |
| | | | | Specification: | 58864011160022_D |
| | | | | Serial No.: | 2021/9549 |
| | | | | Class of efficiency: | IE3, Nema Premium |

Overview of measured points of system test without filter

| | | nominal | 1 (90;100) | 2 (50;100) | 3 (25;100) | 4 (90;50) | 5 (50;50) | 6 (50;25) | 7 (25;25) |
|----------------------------|--------|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| U in | [V] | --,-- | 229,42 | 229,91 | 230,32 | 230,15 | 230,49 | 230,63 | 230,73 |
| f in | [Hz] | --,-- | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 |
| I in | [A] | --,-- | 5,7581 | 3,7952 | 2,6976 | 3,2662 | 2,1441 | 1,4057 | 0,9759 |
| P in | [W] | --,-- | 870,95 | 550,36 | 372,45 | 462,09 | 287,37 | 175,93 | 114,65 |
| f H01 | [Hz] | --,-- | 45,0 | 26,0 | 14,5 | 44,5 | 25,0 | 24,5 | 12,5 |
| U H01 | [V] | --,-- | 206,62 | 118,55 | 64,982 | 205,05 | 114,87 | 113,08 | 57,577 |
| I H01 1 | [A] | --,-- | 3,0035 | 3,0307 | 3,2650 | 2,1836 | 2,1372 | 1,8893 | 1,8135 |
| I H01 2 | [A] | --,-- | 3,0174 | 3,0420 | 3,2728 | 2,1973 | 2,1486 | 1,9020 | 1,8214 |
| I H01 3 | [A] | --,-- | 3,0107 | 3,0416 | 3,2775 | 2,1872 | 2,1450 | 1,8948 | 1,8209 |
| I H01 | [A] | --,-- | 3,0105 | 3,0381 | 3,2718 | 2,1894 | 2,1436 | 1,8954 | 1,8186 |
| P H01 | [W] | --,-- | 815,39 | 501,47 | 326,14 | 422,48 | 250,39 | 141,84 | 83,835 |
| cos φ H01 | [-] | --,-- | 0,757 | 0,804 | 0,886 | 0,543 | 0,587 | 0,382 | 0,462 |
| U rms | [V] | --,-- | 236,44 | 181,77 | 137,39 | 238,98 | 180,85 | 180,34 | 130,03 |
| I rms 1 | [A] | --,-- | 3,0146 | 3,0421 | 3,2759 | 2,1963 | 2,1500 | 1,9029 | 1,8272 |
| I rms 2 | [A] | --,-- | 3,0286 | 3,0537 | 3,2839 | 2,2103 | 2,1619 | 1,9161 | 1,8356 |
| I rms 3 | [A] | --,-- | 3,0212 | 3,0524 | 3,2880 | 2,1991 | 2,1572 | 1,9075 | 1,8337 |
| I rms | [A] | --,-- | 3,0214 | 3,0494 | 3,2826 | 2,2019 | 2,1564 | 1,9088 | 1,8321 |
| P rms | [W] | --,-- | 820,33 | 507,43 | 330,61 | 427,64 | 256,38 | 148,00 | 87,932 |
| Lambda | [-] | --,-- | 0,660 | 0,514 | 0,395 | 0,467 | 0,368 | 0,240 | 0,197 |
| n act | [/min] | --,-- | 1300,0 | 724,01 | 357,38 | 1311,4 | 725,39 | 723,16 | 362,45 |
| T act | [Nm] | --,-- | 4,9380 | 4,9378 | 4,9379 | 2,4667 | 2,4672 | 1,2357 | 1,2357 |
| P 2 | [W] | --,-- | 672,24 | 374,38 | 184,80 | 338,75 | 187,41 | 93,579 | 46,901 |
| I d | [A] | | | | | | | | |
| I q | [A] | | | | | | | | |
| U dc | [V] | | | | | | | | |
| T 1 | [°C] | --,-- | 56,8 | 56,9 | 57,7 | 56,7 | 55,0 | 53,7 | 52,8 |
| T 2 | [°C] | --,-- | 57,0 | 57,1 | 58,2 | 57,2 | 55,1 | 53,7 | 52,9 |
| T 3 | [°C] | --,-- | 56,8 | 56,9 | 58,1 | 56,8 | 54,7 | 53,3 | 52,5 |
| T 4 | [°C] | --,-- | 45,9 | 46,2 | 47,1 | 47,6 | 47,2 | 47,1 | 46,9 |
| T 5 | [°C] | --,-- | 46,9 | 47,3 | 48,4 | 48,6 | 48,0 | 47,6 | 47,5 |
| T 6 | [°C] | --,-- | 39,2 | 40,0 | 42,6 | 41,3 | 40,7 | 41,3 | 41,8 |
| T 7 | [°C] | --,-- | 44,7 | 44,9 | 45,6 | 46,0 | 45,9 | 45,8 | 45,7 |
| T 8 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 9 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 10 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 11 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 12 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 13 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 14 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 15 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T 16 | [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T amb 1 | [°C] | --,-- | 26,0 | 26,1 | 26,0 | 26,2 | 26,1 | 26,2 | 26,2 |
| T amb 2 | [°C] | --,-- | 26,0 | 26,0 | 26,0 | 26,1 | 26,1 | 26,1 | 26,2 |
| η converter | [%] | | 94,19 | 92,20 | 88,77 | 92,54 | 89,22 | 84,13 | 76,70 |
| η motor | [%] | --,-- | 81,95 | 73,78 | 55,90 | 79,21 | 73,10 | 63,23 | 53,34 |
| η system | [%] | | 77,18 | 68,02 | 49,62 | 73,31 | 65,22 | 53,19 | 40,91 |
| U out / U in | [-] | | 1,35 | 0,77 | 0,42 | 1,34 | 0,75 | 0,74 | 0,37 |

Note: The calculation above does not contain the measurement uncertainty.

Signature :



Test technician: Fiala, Petr

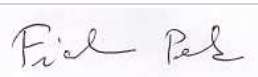
| | | | | | |
|----------------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------------|--------------------------|
| Power output : | 750,0W | Note : | --- | Motor type : | 1AV3083B |
| Voltage : | 230,0V | Frequency : | 50,00Hz | Thermal class : | F |
| Current : | 3,050A | Speed : | 1450/min | Type of construction : | IMB3 |
| Power factor : | 0,750 | No. Poles : | 4 | Degree of protection : | IP55 |
| Torque : | 4,93Nm | Duty type : | --- | Frame Size : | 80M |
| Efficiency : | 82,5% | Line connection : | D | Max. amb. temperature : | 40,0°C |
| | | | | Order code : | 1LE10030DB322A |
| | | | | Report No.: | M2280M-813-4N |
| | | | | Specification: | 58864011160022_D |
| | | | | Serial No.: | 2021/9549 |
| | | | | Class of efficiency: | IE3, Nema Premium |

Overview of measured points of system test with anti-aliasing filter 100kHz

| | nominal | 1 (90;100) | 2 (50;100) | 3 (25;100) | 4 (90;50) | 5 (50;50) | 6 (50;25) | 7 (25;25) |
|---|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| U_{in} [V] | --,-- | 229,42 | 229,90 | 230,32 | 230,15 | 230,49 | 230,62 | 230,71 |
| f_{in} [Hz] | --,-- | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 |
| I_{in} [A] | --,-- | 5,7575 | 3,7971 | 2,6980 | 3,2655 | 2,1471 | 1,4061 | 0,9760 |
| P_{in} [W] | --,-- | 870,93 | 550,34 | 372,50 | 462,08 | 287,33 | 175,93 | 114,60 |
| f_{H01} [Hz] | --,-- | 45,0 | 26,0 | 14,5 | 44,5 | 25,0 | 24,5 | 12,5 |
| U_{H01} [V] | --,-- | 206,62 | 118,54 | 64,980 | 205,05 | 114,87 | 113,08 | 57,580 |
| I_{H01 1} [A] | --,-- | 3,0035 | 3,0305 | 3,2659 | 2,1837 | 2,1375 | 1,8893 | 1,8138 |
| I_{H01 2} [A] | --,-- | 3,0181 | 3,0424 | 3,2740 | 2,1973 | 2,1490 | 1,9018 | 1,8215 |
| I_{H01 3} [A] | --,-- | 3,0104 | 3,0417 | 3,2785 | 2,1875 | 2,1456 | 1,8954 | 1,8217 |
| I_{H01} [A] | --,-- | 3,0107 | 3,0382 | 3,2728 | 2,1895 | 2,1441 | 1,8955 | 1,8190 |
| P_{H01} [W] | --,-- | 815,47 | 501,46 | 326,27 | 422,55 | 250,30 | 141,86 | 83,872 |
| cos φ_{H01} [-] | --,-- | 0,757 | 0,804 | 0,886 | 0,543 | 0,587 | 0,382 | 0,462 |
| U_{rms} [V] | --,-- | 233,39 | 177,32 | 131,26 | 235,65 | 176,37 | 175,76 | 123,60 |
| I_{rms 1} [A] | --,-- | 3,0071 | 3,0341 | 3,2690 | 2,1862 | 2,1401 | 1,8911 | 1,8151 |
| I_{rms 2} [A] | --,-- | 3,0218 | 3,0459 | 3,2771 | 2,1998 | 2,1515 | 1,9037 | 1,8228 |
| I_{rms 3} [A] | --,-- | 3,0140 | 3,0453 | 3,2816 | 2,1900 | 2,1482 | 1,8972 | 1,8230 |
| I_{rms} [A] | --,-- | 3,0143 | 3,0417 | 3,2759 | 2,1920 | 2,1466 | 1,8973 | 1,8203 |
| P_{rms} [W] | --,-- | 819,79 | 506,80 | 330,05 | 427,10 | 255,66 | 147,44 | 87,334 |
| Lambda [-] | --,-- | 0,670 | 0,527 | 0,412 | 0,475 | 0,378 | 0,247 | 0,205 |
| n_{act} [/min] | --,-- | 1300,0 | 724,01 | 357,32 | 1311,4 | 725,38 | 723,17 | 362,42 |
| T_{act} [Nm] | --,-- | 4,9380 | 4,9375 | 4,9381 | 2,4667 | 2,4664 | 1,2357 | 1,2357 |
| P₂ [W] | --,-- | 672,23 | 374,35 | 184,77 | 338,75 | 187,35 | 93,578 | 46,898 |
| I_d [A] | | | | | | | | |
| I_q [A] | | | | | | | | |
| U_{dc} [V] | | | | | | | | |
| T₁ [°C] | --,-- | 56,8 | 57,0 | 57,7 | 56,8 | 54,9 | 53,5 | 52,8 |
| T₂ [°C] | --,-- | 57,0 | 57,1 | 58,5 | 57,0 | 55,0 | 53,6 | 52,8 |
| T₃ [°C] | --,-- | 56,8 | 56,9 | 58,5 | 56,5 | 54,6 | 53,2 | 52,4 |
| T₄ [°C] | --,-- | 45,9 | 46,3 | 47,3 | 47,5 | 47,2 | 47,1 | 46,9 |
| T₅ [°C] | --,-- | 46,9 | 47,3 | 48,5 | 48,6 | 48,0 | 47,6 | 47,5 |
| T₆ [°C] | --,-- | 39,2 | 40,2 | 42,9 | 41,1 | 40,9 | 41,3 | 42,0 |
| T₇ [°C] | --,-- | 44,7 | 45,0 | 45,7 | 46,0 | 45,9 | 45,8 | 45,8 |
| T₈ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₉ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₀ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₁ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₂ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₃ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₄ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₅ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T₁₆ [°C] | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- | --,-- |
| T_{amb 1} [°C] | --,-- | 25,9 | 26,1 | 26,0 | 26,1 | 26,2 | 26,2 | 26,2 |
| T_{amb 2} [°C] | --,-- | 26,0 | 26,0 | 26,0 | 26,1 | 26,1 | 26,1 | 26,2 |
| η_{converter} [%] | | 94,13 | 92,09 | 88,60 | 92,43 | 88,98 | 83,81 | 76,21 |
| η_{motor} [%] | --,-- | 82,00 | 73,87 | 55,98 | 79,31 | 73,28 | 63,47 | 53,70 |
| η_{system} [%] | | 77,19 | 68,02 | 49,60 | 73,31 | 65,20 | 53,19 | 40,92 |
| U_{out}/U_{in} [-] | | 1,35 | 0,77 | 0,42 | 1,34 | 0,75 | 0,74 | 0,37 |

Note: The calculation above does not contain the measurement uncertainty.

Signature :



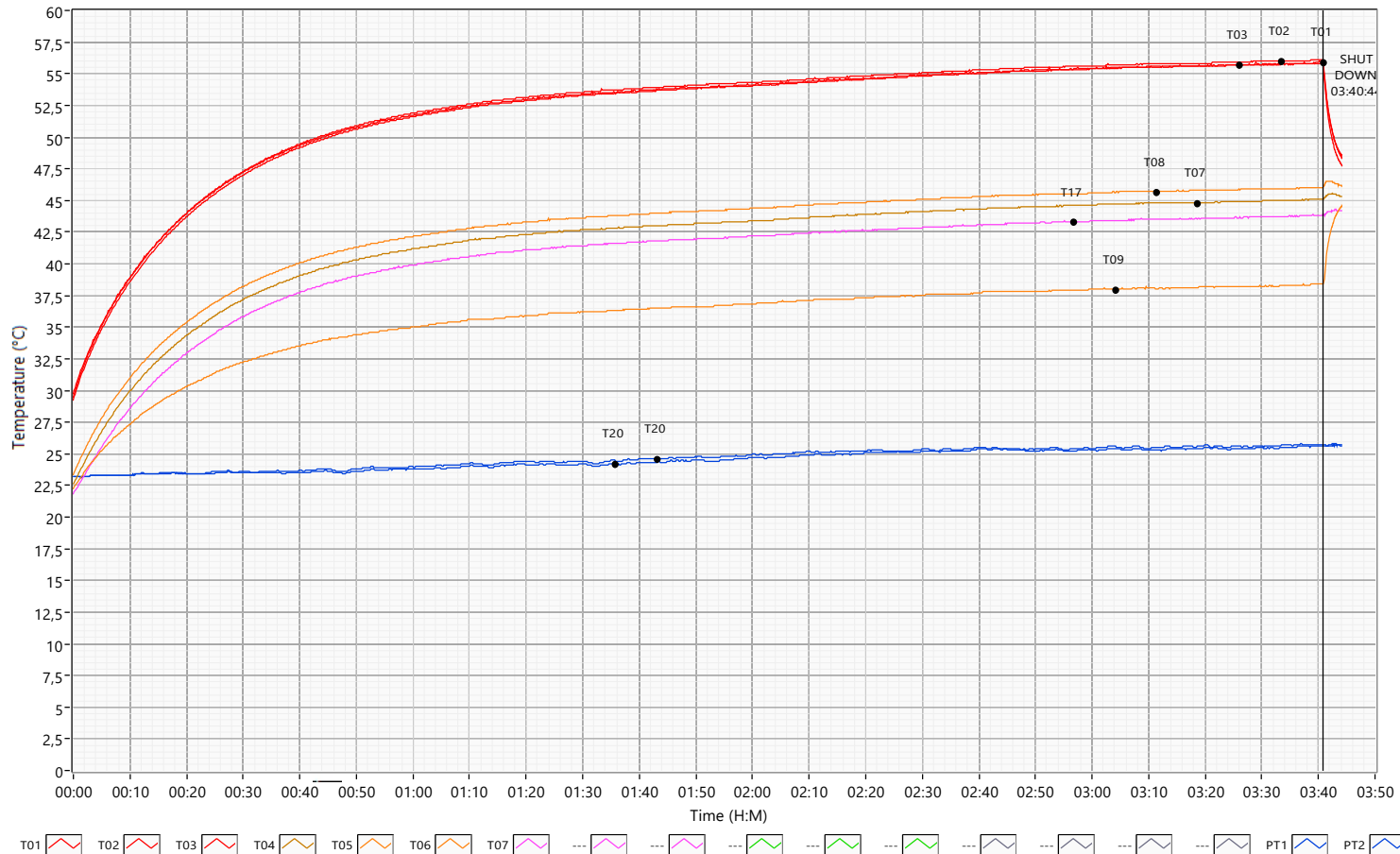
Test technician:

Fiala, Petr

| | | |
|------------------------------|----------------------------|--|
| Power output : 750,0W | Note : --- | Motor type : 1AV3083B |
| Voltage : 230,0V | Frequency : 50,00Hz | Order code : 1LE10030DB322A |
| Current : 3,050A | Speed : 1450/min | Report No.: M2280M-813-4N |
| Power factor : 0,750 | No. Poles : 4 | Specification : 58864011160022_D |
| Torque : 4,93Nm | Duty type : --- | Frame Size : 80M |
| Efficiency : 82,5% | Line connection : D | Max. amb. temperature : 40,0°C |
| | | Class of efficiency : IE3, Nema Premium |

206,7 V (H01)/ 45,0 Hz / 4,936 Nm / 0,6721 kW

TEMPERATURES COURSE CHARACTERISTIC during heat run test



Overview of parameters of measured point

| | | -30 min | end |
|-----------------------------------|--------|---------------|---------------|
| U _{in} | [V] | 229,50 | 229,49 |
| I _{in} | [A] | 5,7479 | 5,7549 |
| P _{in} | [W] | 870,47 | 870,56 |
| f _{H01} | [Hz] | 45,0 | 45,0 |
| U _{H01} | [V] | 206,66 | 206,65 |
| I _{H01} | [A] | 3,0102 | 3,0105 |
| P _{H01} | [W] | 815,12 | 815,17 |
| cos φ _{H01} | [-] | 0,756 | 0,756 |
| U _{rms} | [V] | 236,57 | 236,56 |
| I _{rms 1} | [A] | 3,0144 | 3,0157 |
| I _{rms 2} | [A] | 3,0304 | 3,0304 |
| I _{rms 3} | [A] | 3,0187 | 3,0180 |
| I _{rms} | [A] | 3,0212 | 3,0214 |
| P _{rms} | [W] | 820,06 | 820,05 |
| Lambda | [-] | 0,659 | 0,659 |
| n _{act} | [/min] | 1300,2 | 1300,2 |
| T _{act} | [Nm] | 4,9378 | 4,9364 |
| P ₂ | [W] | 672,34 | 672,11 |
| η _{converter} | [%] | 94,21 | 94,20 |
| η _{motor} | [%] | 81,99 | 81,96 |
| η _{system} | [%] | 77,24 | 77,20 |
| U _{out} /U _{in} | [-] | 1,35 | 1,35 |

MEASURED TABLE of the temperatures in steady state

| Place of measuring (TXX - thermal spot) | Steady temperature before ShutDown (°C) | Temperature rise (K) | Max. Temp. after ShutDown (°C) | Temp. rise (K) from max. temp. |
|---|---|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| TC01 = T01 - Winding overhang DS (U) | 55,9 | 30,2 | 55,9 | 30,4 |
| TC02 = T02 - Winding overhang DS (V) | 56,1 | 30,5 | 56,1 | 30,5 |
| TC03 = T03 - Winding overhang DS (W) | 55,8 | 30,1 | 55,8 | 30,2 |
| TC04 = T07 - Housing DS | 45,1 | 19,5 | 45,6 | 20,0 |
| TC05 = T08 - Housing (middle) | 46,0 | 20,4 | 46,5 | 20,9 |
| TC06 = T09 - Housing NDS | 38,4 | 12,7 | 44,6 | 19,0 |
| TC07 = T17 - Outer bearing ring DS | 43,8 | 18,2 | 44,3 | 18,6 |
| TC08 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC09 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC10 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC11 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC12 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC13 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC14 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC15 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC16 = --- | --- | --- | --- | --- |
| TC17 = T20 - Ambient temperature | 25,7 | --- | --- | --- |
| TC18 = T20 - Ambient temperature | 25,6 | --- | --- | --- |

Signature :

Fiala Petr

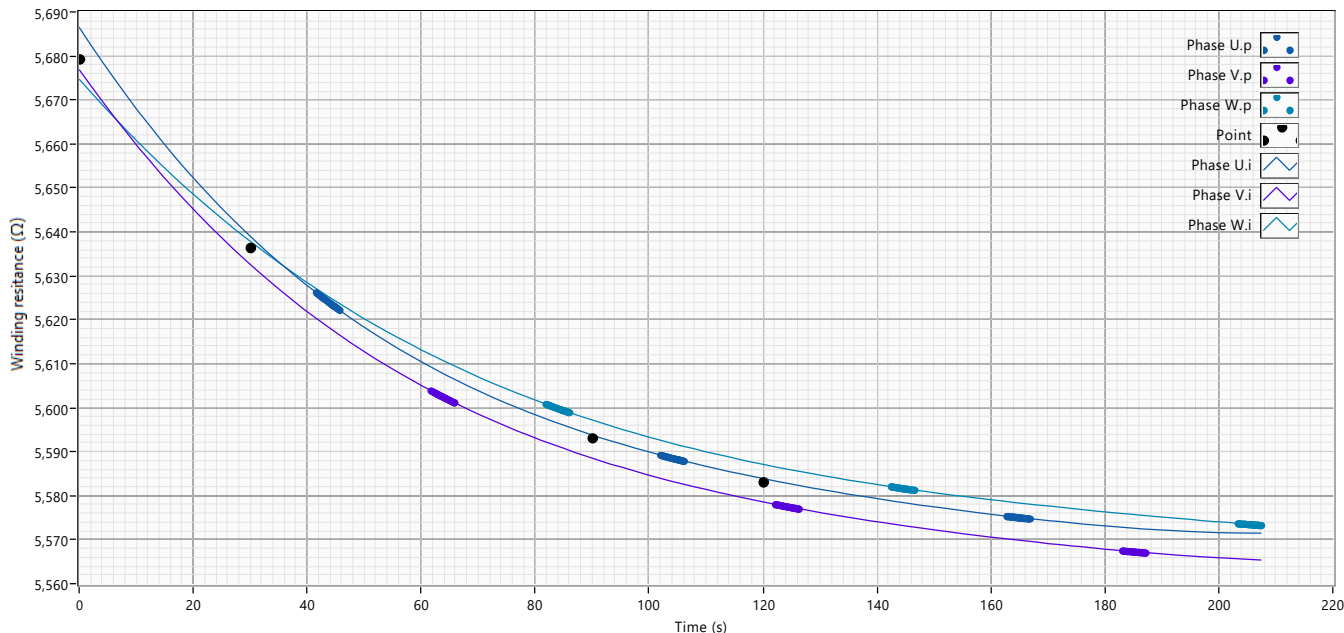
Test engineer : Fiala, Petr

Page : 5/8

| | | |
|------------------------------|----------------------------|--|
| Power output : 750,0W | Note : --- | Motor type : 1AV3083B |
| Voltage : 230,0V | Frequency : 50,0Hz | Order code : 1LE10030DB322A |
| Current : 3,050A | Speed : 1450/min | Report No.: M2280M-813-4N |
| Power factor : 0,750 | No. Poles : 4 | Specification : 58864011160022_D |
| Torque : 4,93Nm | Duty type : --- | Frame Size : 80M |
| Efficiency : 82,5% | Line connection : D | Max. amb. temperature : 40,0°C |
| | | Class of efficiency : IE3, Nema Premium |

206,7 V (H01)/ 45,0 Hz / 4,936 Nm / 0,6721 kW

WINDING RESISTANCE CHARACTERISTIC after heat run test



Calculated values of winding resistance (example according IEC)

| | | | | | | | |
|--|---------------------|----------------|----------------|----------------|--|--|--|
| Cold Winding | Ambient temperature | Resistance U-V | Resistance V-W | Resistance W-U | Resistance Rs AVG Cold | Rise temperature calculated for cold ambient temperature | |
| | 25,4°C | 5,10948Ω | 5,10508Ω | 5,11156Ω | 5,10870Ω | 29,1K | |
| Cold Winding at nominal ambient temperature | Ambient temperature | Resistance U-V | Resistance V-W | Resistance W-U | Resistance Rs AVG HeatRun | | |
| | 20,0°C | 5,00274Ω | 4,99843Ω | 5,00477Ω | 5,00198Ω | | |
| | Ambient temperature | Resistance U-V | Resistance V-W | Resistance W-U | Resistance Rs AVG Cold | Resistance Rf AVG Cold | Winding Connection |
| | 25,0°C | 5,10083Ω | 5,09643Ω | 5,10291Ω | 5,10006Ω | 7,65009Ω | D |
| After Heat Run | Ambient temperature | Resistance U-V | Resistance V-W | Resistance W-U | Resistance Rs AVG HeatRun | Rise temperature calculated for heat run ambient temperature | Winding temperature after Heat run |
| | 25,6°C | 5,68650Ω | 5,67689Ω | 5,67470Ω | 5,67936Ω | 28,9K | 54,5°C |
| After Heat Run at nominal ambient temperature | Ambient temperature | Resistance U-V | Resistance V-W | Resistance W-U | Resistance Rs AVG HeatRun at nominal ambient temperature | | Winding temperature after HeatRun at t25 |
| | 20,0°C | 5,57619Ω | 5,56667Ω | 5,56434Ω | 5,56907Ω | | 53,9°C |
| | Ambient temperature | Resistance U-V | Resistance V-W | Resistance W-U | Resistance Rs AVG HeatRun at nominal ambient temperature | | |
| | 25,0°C | 5,67428Ω | 5,66468Ω | 5,66248Ω | 5,66715Ω | | |

MEASURED TABLE of the resistance values IEC

| | 0s | 30s | 90s | 120s |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ambient temperature (°C) * | 25,6 | 25,6 | 25,6 | 25,6 |
| Resistance U-V (Ω) | 5,6865 | 5,6390 | 5,5938 | 5,5839 |
| Rise of temperature U-V (K) | 29,23 | 26,81 | 24,51 | 24,00 |
| Resistance V-W (Ω) | 5,6769 | 5,6326 | 5,5885 | 5,5786 |
| Rise of temperature V-W (K) | 28,99 | 26,73 | 24,48 | 23,97 |
| Resistance W-U (Ω) | 5,6747 | 5,6379 | 5,5972 | 5,5871 |
| Rise of temperature W-U (K) | 28,51 | 26,63 | 24,56 | 24,05 |
| Resistance avg (Ω) | 5,6794 | 5,6365 | 5,5932 | 5,5832 |
| Rise of temperature, avg (K) | 28,91 | 26,72 | 24,52 | 24,01 |
| Winding temperature (°C) | 54,53 | 52,35 | 50,14 | 49,63 |

Temperature Rise is calculated using constant of resistance:
IEC - Pure cooper K=235, aluminium K=225

Determination temperature Rise and winding resistance for efficiency calculation:
IEC - standard at 0s, optionally at 30s after shutdown

* average of the measured values

Signature :

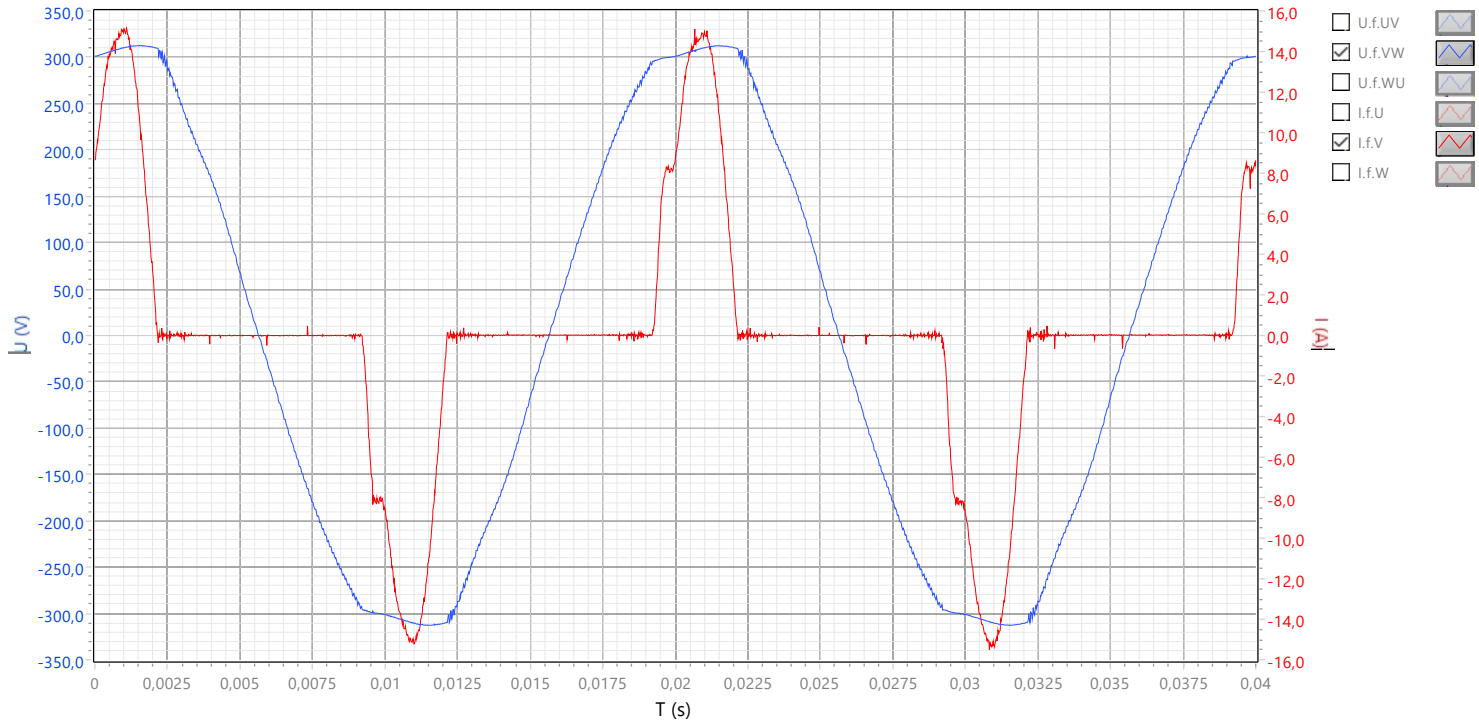
Test engineer : Fiala, Petr

| | | |
|------------------------------|----------------------------|--|
| Power output : 750,0W | Note : --- | Motor type : 1AV3083B |
| Voltage : 230,0V | Frequency : 50,00Hz | Order code : 1LE10030DB322A |
| Current : 3,050A | Speed : 1450/min | Report No.: M2280M-813-4N |
| Power factor : 0,750 | No. Poles : 4 | Specification : 58864011160022_D |
| Torque : 4,93Nm | Duty type : --- | Frame Size : 80M |
| Efficiency : 82,5% | Line connection : D | Max. amb. temperature : 40,0°C |
| | | Thermal class : F |
| | | Type of construction : IMB3 |
| | | Degree of protection : IP55 |
| | | Class of efficiency : IE3, Nema Premium |

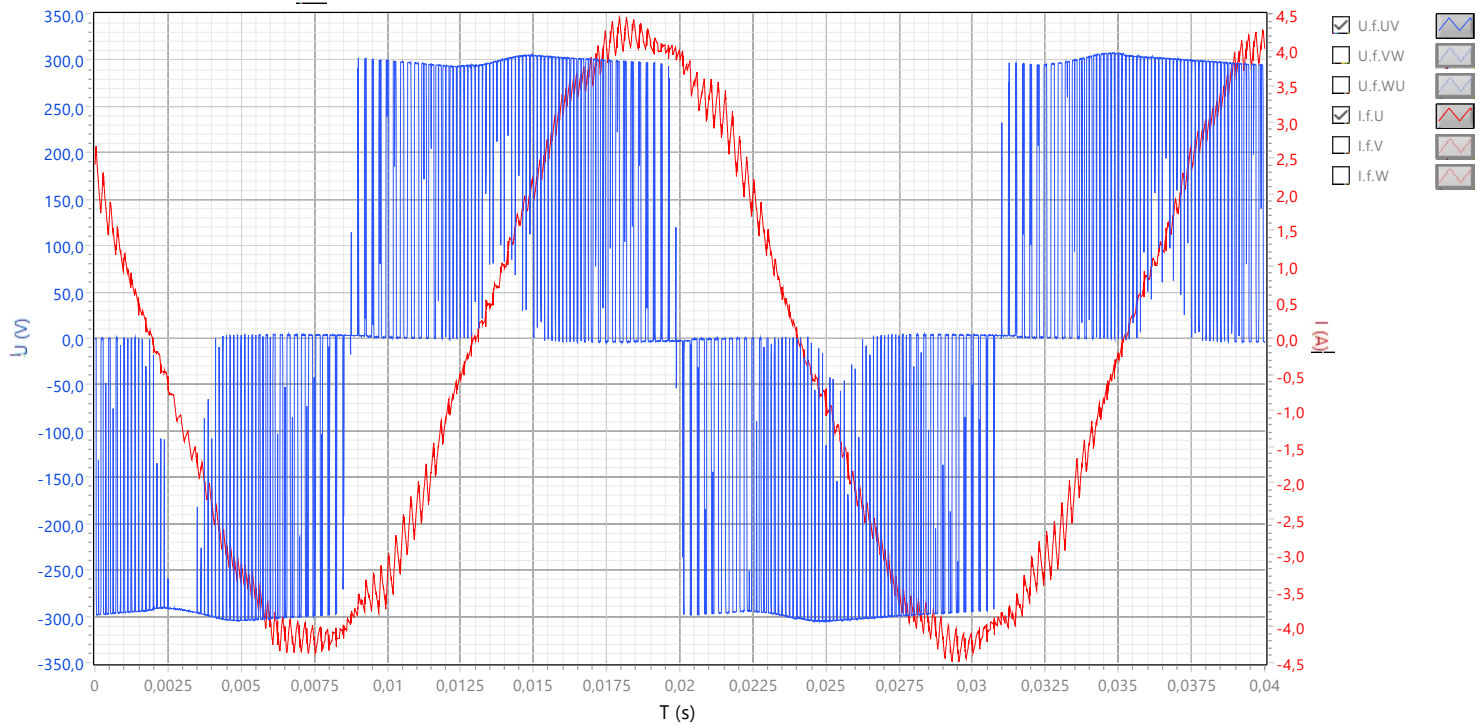
206,7 V (H01)/ 45,0 Hz / 4,936 Nm / 0,6721 kW

with anti-aliasing filter 100kHz

WAVEFORM VIEW: converter



WAVEFORM VIEW: motor



Signature :

Fiala Petr

Test engineer : Fiala, Petr

Page : 7/8

| | | |
|------------------------------|---------------------------------------|--|
| Power output : 750,0W | Note : --- | Motor type : 1AV3083B |
| Voltage : 230,0V | Frequency : 50,00Hz | Order code : 1LE10030DB322A |
| Current : 3,050A | Speed : 1450/min | Report No.: M2280M-813-4N |
| Power factor : 0,750 | No. Poles : 4 | Specification : 58864011160022_D |
| Torque : 4,93Nm | Duty type : --- | Serial No.: 2021/9549 |
| Efficiency : 82,5% | Line connection : D | Class of efficiency : IE3, Nema Premium |
| | Thermal class : F | |
| | Type of construction : IMB3 | |
| | Degree of protection : IP55 | |
| | Frame Size : 80M | |
| | Max. amb. temperature : 40,0°C | |

OVERVIEW OF USED MEASUREMENT DEVICES AND INTERMEDIATE CHECKS Page 1

| Measurement devices for test | | | | | |
|--|--|----------------|--------------|--|--|
| No. of Test bench or Measurement tower | Inventory No. of Test bench or Measurement tower | Measurement of | Manufacturer | Model | Note_Name_Date |
| 7 | 5110203992 | Voltage | FLUKE | NORMA 4000, 3PP54 S. No. H6 23531BA | Manufacturer of this testing unit is ELCOM, that delivered whole measuring and evaluating technology. Calibration of electric measurement devices has been executed at another date then calibration of mechanic ones, by certificated subcontractors. |
| 7 | 5110203992 | Current | | | |
| 7 | 5110203992 | Electric power | | | |
| 7 | 5110203992 | Resistance | ELCOM | EVIP 150051-015 | |
| 7 | 5110203992 | Temperature | ELCOM | EVIP 150051-015 | |
| 7 | 5110203992 | Torque | Burster | 8661-5010-V0102 | |
| 7 | 5110203992 | Speed | ELCOM | EVIP 150051-015 | |
| ST2 | 5110204851 | Voltage | FLUKE | FLUKE NORMA 4000 | |
| ST2 | | Current | | Prod. No. F417284 BA | |
| ST2 | | Electric power | | Prod. No. F417282 BA | |
| ST2 | | Resistance | ELCOM | +ST2 | |

Another measurement device

| Measurement of | Manufacturer | Model | Serial No. | Note Name Date |
|-----------------------|-----------------|-----------------|---------------|--|
| Temperature | AHLBORN | Almemo 2590-4AS | H17030269 (1) | Needle probes: FTA122L0200H, FT0122L0200 |
| Temperature | AHLBORN | Almemo 2590-4AS | H17080824 (2) | Needle probes: FTA122L0200H, FT0122L0200 |
| Temperature | AHLBORN | Almemo 2590-4AS | H21050450 (3) | Needle probes: FTA150L0350H, FTA122L0200H |
| Temperature | AHLBORN | Almemo 2590-4AS | H21050451 (4) | Needle probes: FTA150L0350H, FTA122L0200H |
| Temperature | Fluke | Ti 32 | Ti32-13080425 | |
| Vibration | National Instr. | 9234 | 150D014 | With accelerometer Adash A102-1A (S. No. 1265) |
| High voltage | SPS Electronic | HA 3600D | 11053061 | |
| Insulation resistance | Chauvin Arnoux | C.A 6545 | 184598HMH | |

End of Test Report

Signature : 

Test technician: **Fiala, Petr** Page : 8/8

Parameter list (every point)

| Number | Description | 90/100 | 50/100 | 25/100 | 90/50 | 50/50 | 50/25 | 25/25 | |
|---------|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| p1300 | Open-loop/closed-loop control operating mode | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| p1802 | Modulator mode | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| r1809 | CO: Modulator mode actual | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| p1803 | Maximum modulation depth | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | % |
| r0074 | CO: Modulation depth | 99,96 | 56,36 | 31,18 | 95,04 | 52,82 | 51,02 | 26,1 | % |
| p1800 | Pulse frequency setpoint | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | kHz |
| r1801 | CO: Pulse frequency | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | kHz |
| r0395 | Actual stator resistance | 2,79229 | 2,79229 | 2,79229 | 2,79229 | 2,79229 | 2,79229 | 2,79229 | Ω |
| r0396 | Actual rotor resistance | 1,42886 | 1,42886 | 1,42886 | 1,42886 | 1,42886 | 1,42886 | 1,42886 | Ω |
| r0070 | Actual DC link voltage | 306,6 | 310,8 | 307 | 311,2 | 315 | 316,7 | 318,8 | V |
| r0066 | CO: Output frequency | 44,99 | 26 | 14,5 | 44,5 | 25 | 24,5 | 12,5 | Hz |
| r0072 | CO: Output voltage | 207 | 119,6 | 66,7 | 204,7 | 115 | 112,7 | 57,5 | V |
| r0068 | CO: Absolute current actual value | 2,93 | 3,01 | 3,26 | 2,2 | 2,11 | 1,89 | 1,84 | A |
| r0082 | CO: Active power actual value | 0,78 | 0,44 | 0,25 | 0,45 | 0,23 | 0,13 | 0,06 | kW |
| r0063 | CO: Speed actual value | 1349,95 | 779,94 | 434,97 | 1334,93 | 750 | 734,99 | 375 | 1/min |
| r0080 | CO: Torque actual value | 5,58 | 5,53 | 5,51 | 3,09 | 2,88 | 1,65 | 1,6 | Nm |
| r0038 | Power factor smoothed | 0,81 | 0,84 | 0,91 | 0,62 | 0,63 | 0,44 | 0,51 | |
| r0071 | Maximum output voltage | 219,7 | 226,7 | 226,9 | 228,5 | 228,3 | 227,4 | 227,1 | V |
| r0035 | CO: Motor temperature | - | - | - | - | - | - | - | °C |
| r0037 | CO: Power unit temperatures | 31 | 31 | 31 | 30 | 30 | 29 | 29 | °C |
| r1315 | Voltage boost total | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | V |
| r0084 | CO: Flux actual value | 103,6 | 98,4 | 87,1 | 105,7 | 103 | 105,1 | 101,5 | % |
| r0027 | CO: Absolute actual current smoothed | 3 | 3,02 | 3,26 | 2,18 | 2,15 | 1,89 | 1,81 | A |
| r0082.1 | CO: Active power actual value: Smoothed with p0045 | 0,8 | 0,45 | 0,25 | 0,44 | 0,23 | 0,13 | 0,06 | kW |
| r0082.2 | CO: Active power actual value: Electrical power | 0,84 | 0,49 | 0,34 | 0,42 | 0,26 | 0,15 | 0,09 | kW |
| r0031 | Actual torque smoothed | 5,65 | 5,47 | 5,53 | 3,11 | 2,95 | 1,71 | 1,66 | Nm |
| p1570 | CO: Flux setpoint | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | % |
| p1810 | Modulator configuration | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| p1574 | Voltage reserve dynamic | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | V |
| p0076 | Id current | 1,27 | 1,15 | 0,9 | 1,59 | 1,56 | 1,71 | 1,64 | A |
| p0078 | Iq current | 2,71 | 2,84 | 3,14 | 1,47 | 1,44 | 0,78 | 0,8 | A |
| p0070 | Actual DC link voltage | 306,6 | 310,8 | 307 | 311,2 | 315 | 316,7 | 318,8 | V |
| p0026 | DC link voltage smoothed | 292,8 | 301,1 | 307,4 | 304,4 | 310,6 | 314,9 | 317,6 | V |

Parameter list (single time)

| Number | Description | | |
|--------|--|----------|-------------------|
| p0505 | Unit selection | 1 | |
| p0100 | IEC/NEMA motor standards | 0 | |
| r0204 | Power unit hardware properties | 41216 | |
| p0300 | Motor type selection | 1 | |
| p0301 | Motor code number selection | 0 | |
| p0304 | Rated motor voltage | 230 | V |
| p0305 | Rated motor current | 3,05 | A |
| p0307 | Rated motor power | 0,75 | kW |
| p0308 | Rated motor power factor | 0,75 | |
| p0309 | Rated motor efficiency | 0 | % |
| p0310 | Rated motor frequency | 50 | Hz |
| p0311 | Rated motor speed | 1450 | 1/min |
| p0320 | Motor rated magnetizing current | 1,83 | A |
| p0322 | Maximum motor speed | 0 | 1/min |
| r0331 | Actual motor magnetizing current | 1,83 | A |
| r0337 | Rated motor EMF | 182,75 | V |
| p0341 | Motor moment of inertia | 0,002127 | kg.m ² |
| p0342 | Ratio between the total and motor moment of inertia | 1 | |
| p0344 | Motor weight (for the thermal motor model) | 9,3 | kg |
| r0345 | Nominal motor starting time | 0,065 | s |
| p0350 | Motor stator resistance, cold | 2,22539 | Ω |
| p0352 | Cable resistance | 0,5135 | Ω |
| p0354 | Motor rotor resistance, cold | 1,68906 | Ω |
| p0356 | Motor stator leakage inductance | 16,01628 | mH |
| p0358 | Motor rotor leakage inductance | 17,41364 | mH |
| p0360 | Motor magnetizing inductance | 199,5917 | mH |
| r0374 | Motor rotor resistance, cold | 1,42886 | Ω |
| r0376 | Rated motor rotor resistance | 1,44124 | Ω |
| r0377 | Motor leakage inductance, total | 32,03255 | mH |
| r0382 | Motor magnetizing inductance transformed | 183,5754 | mH |
| r0384 | Motor rotor time constant | 128 | ms |
| r0386 | Motor stator leakage time constant | 7,5 | ms |
| p0362 | Motor saturation characteristic flux 1 | 60 | % |
| p0363 | Motor saturation characteristic flux 2 | 85 | % |
| p0364 | Motor saturation characteristic flux 3 | 115 | % |
| p0365 | Motor saturation characteristic flux 4 | 125 | % |
| p0366 | Motor saturation characteristic I_mag 1 | 50 | % |
| p0367 | Motor saturation characteristic I_mag 2 | 75 | % |
| p0368 | Motor saturation characteristic I_mag 3 | 150 | % |
| p0369 | Motor saturation characteristic I_mag 4 | 210 | % |
| p1310 | Voltage boost permanent | 0 | % |
| p1311 | Voltage boost at acceleration | 0 | % |
| p1320 | U/f control programmable characteristic frequency 1 | 0 | Hz |
| p1321 | U/f control programmable characteristic voltage 1 | 0 | V |
| p1322 | U/f control programmable characteristic frequency 2 | 0 | Hz |
| p1323 | U/f control programmable characteristic voltage 2 | 0 | V |
| p1324 | U/f control programmable characteristic frequency 3 | 0 | Hz |
| p1325 | U/f control programmable characteristic voltage 3 | 0 | V |
| p1326 | U/f control programmable characteristic frequency 4 | 50 | Hz |
| p1327 | U/f control programmable characteristic voltage 4 | 230 | V |
| p1460 | Speed controller P-gain adaption speed lower | 3 | |
| p1462 | Speed controller adaption speed lower | 128 | ms |
| p1470 | Speed controller encoderless operation P-gain | 3 | |
| p1472 | Speed controller encoderless operation integral time | 144 | ms |
| p1715 | Current controller P-gain | 0,184 | |
| p1717 | Current controller integral-action time | 7,55 | |
| p1825 | Converter valve threshold voltage | 1,1 | |
| p1828 | Compensation valve lockout time phase U | 0,62 | |
| p1580 | Efficiency optimization | 0 | % |