

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

Katedra fyziky

**Diagnostika asynchronních elektromotorů na zkušebním
pracovišti a reálném provozu**

Bakalářská práce

Knihovna JU - PF



3 1 1 5 1 7 2 5 1 6

Josef Vůjta

Vedoucí práce: Doc. PaDr. Petr Adámek, Ph.D.

Hrdějovice 19.4.2006

Induction motors diagnostics in the test workplace and in the real workplace

In this dissertation are described properties of induction motors, on which is practised diagnostic, both in real and testing operation. Production types are achieving outstanding operation parameters in conjunction with electronic control. Coupled with machine bring energy savings and have not negative effect on environment. This is the question of induction motors with short circuit armature in all versions. This group of induction motors ensures operation in all areas of industry and in public sector. In industry are induction motors used for driving of pumps, fans, compressors, cranes and special accessories. In public sector induction motors facilitate operation of home appliances in a broad sense of their application.

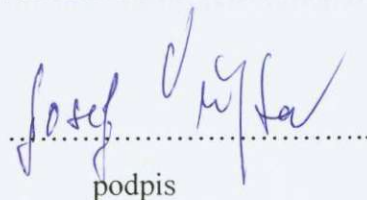
Diagnostika asynchronních elektromotorů na zkušebním pracovišti a reálném provozu

V této práci jsou popisovány vlastnosti asynchronních elektromotorů, které jsou diagnostikovány, jak v reálném provozu tak na zkušebním pracovišti měřením. Výrobní typy dosahují ve spojení s elektronickým řízením vynikající provozní parametry. Následně ve spojení s soustrojím přinášejí energetické úspory a negativně neovlivňují životní prostředí. Jedná se o asynchronní elektromotory s kotvou nakrátko ve všech modifikacích. Tato skupina elektromotorů zajišťuje provoz ve všech oborech průmyslu i v občanském sektoru. V průmyslovém sektoru jsou elektromotory používány pro pohony čerpadel, ventilátorů, kompresorů, jeřábů a speciálních zařízení. V občanském sektoru usnadňují práci domácí spotřebiče v širokém spektru jejich použití.

Prohlašuji, že tuto bakalářskou práci jsem vypracoval zcela samostatně a uvádím v ní veškeré prameny, které jsem použil.

V Hrdějovicích dne 19.4.2006

Josef Vůjta


.....
podpis

Za podporu a pomoc děkuji vedoucímu své bakalářské práce Doc. PaedDr. Petru Adámkovi, Ph.D.

Za pomoc při realizaci měření elektromotorů děkuji Ing. Jaroslavu Skotálkovi, CSc.

Obsah

1	ÚVOD	8
1.1	ELEKTROMAGNETICKÁ ROTACE	9
1.2	ELEKTROMAGNETICKÁ INDUKCE.....	9
1.3	PUBLIKAČNÍ ČINNOST	10
2	PRINCIPY, KONSTRUKCE A APLIKACE ASYNCHRONNÍCH ELEKTROMOTORŮ	11
2.1	PRINCIP ASYNCHRONNÍHO ELEKTROMOTORU	11
2.1.1	<i>Zákon magnetomotorické síly</i>	11
2.1.2	<i>Zákon elektromagnetické indukce</i>	11
2.1.3	<i>Zákon elektrického toku</i>	12
2.1.4	<i>Zákon magnetického toku</i>	12
2.1.5	<i>Rovnice pro proudovou hustotu</i>	12
2.1.6	<i>Rovnice pro elektrickou indukci</i>	12
2.1.7	<i>Rovnice pro magnetickou indukci</i>	12
2.1.8	<i>Elektromechanická přeměna energie</i>	13
2.2	KONSTRUKCE A APLIKACE ASYNCHRONNÍCH ELEKTROMOTORŮ	14
2.2.1	<i>Kostra elektromotoru</i>	15
2.2.2	<i>Přední a zadní ložiskový štít</i>	15
2.2.3	<i>Sestava ložisek</i>	15
2.2.4	<i>Hřídel</i>	16
2.2.5	<i>Stator</i>	16
2.2.6	<i>Magnetický obvod a vinutí</i>	16
3	ZÁKLADNÍ PARAMETRY ASYNCHRONNÍCH ELEKTROMOTORŮ	17
3.1	VŠEOBECNÉ ÚDAJE	17
3.2	ELEKTRICKÉ ÚDAJE.....	18
3.2.1	<i>Napětí, kmitočet, proud</i>	18
3.2.2	<i>Záběrný proud</i>	18
3.2.3	<i>Jmenovitý výkon</i>	18
3.2.4	<i>Výkonnostní štítek</i>	19
3.2.5	<i>Účinnost, účinník</i>	19
3.2.6	<i>Jmenovitý moment</i>	19
3.2.7	<i>Izolace elektromotorů</i>	20
3.2.8	<i>Ochrana, krytí elektromotorů</i>	20
3.2.9	<i>Tolerance technických parametrů dle ČSN EN 60034/01, ČSN 35 0000</i>	20
3.3	MECHANICKÉ ÚDAJE.....	21
3.3.1	<i>Kostra, štítý elektromotoru</i>	21
3.3.2	<i>Statorový a rotorový svazek</i>	21
3.3.3	<i>Ložiska elektromotorů</i>	21
3.3.4	<i>Ukázkový postup</i>	22

3.3.5	<i>Konec hřídele vyvažování</i>	23
3.3.6	<i>Svorkovnice</i>	23
3.3.7	<i>Hluk</i>	23
3.3.8	<i>Otáčky, otáčení točení a ventilace</i>	23
4	MĚŘENÍ PARAMETRŮ ASYNCHRONNÍCH ELEKTROMOTORŮ, POPIS A PRINCIP POUŽÍVANÝCH METOD	24
4.1	MĚŘENÍ ODPORŮ A IZOLAČNÍ PEVNOSTI POUŽITÝCH MATERIÁLŮ	24
4.2	IZOLAČNÍ PEVNOST	26
4.3	ZKOUŠKY IZOLACE VINUTÍ	26
4.4	ENERGETICKÁ BILANCE - ŘEKA ZTRÁT	27
4.5	ZKOUŠKA NAPRÁZDNO	30
4.6	ZKOUŠKA NAKRÁTKO	31
4.7	MOMENTOVÁ CHARAKTERISTIKA	33
4.8	MĚŘENÍ PŘÍDAVNÝCH ZTRÁT ELEKTROMOTORŮ	35
4.8.1	<i>Přídavné ztráty závislé na napětí</i>	35
4.8.2	<i>Přídavné ztráty závislé na zatížení</i>	35
4.8.3	<i>Složky přídavných ztrát</i>	35
4.8.4	<i>Měření přídavných ztrát</i>	36
5	POPIS DIAGNOSTICKÝCH ZAŘÍZENÍ	36
5.1	PROJEKT, PŘÍPRAVA A REALIZACE MĚŘENÍ	36
5.1.1	<i>Druhu měření</i>	36
5.1.2	<i>Měřeném objektu</i>	36
5.1.3	<i>Pro měření stanovujeme hlavní cíl při vyloučení běžných rizik</i>	36
5.1.4	<i>V projekt netypických měření zvolíme kritéria</i>	37
5.1.5	<i>Realizace zkoušky</i>	37
5.2	DYNAMOMETRY	37
5.2.1	<i>Vlastnosti a provedení</i>	38
5.2.2	<i>Vstupní napájecí rozvaděč</i>	39
5.2.3	<i>Měřicí jednotka YOKOGAWA WT 130</i>	39
5.2.4	<i>Natáčivý transformátor</i>	39
5.2.5	<i>Systémová měřicí jednotka</i>	39
5.2.6	<i>Měřič frekvence</i>	40
5.2.7	<i>Zdroj konstantního proudu R313</i>	40
5.2.8	<i>Pohon zkušebního pracoviště</i>	40
5.2.9	<i>Napájecí měnič kmitočtu Siemens</i>	41
5.2.10	<i>Regulační jednotka</i>	41
5.2.11	<i>Snímač kmitání</i>	42
6	ZÁVĚR	43
7	PŘÍLOHY	46

1 ÚVOD

Práce je zaměřena na diagnostiku asynchronních elektromotorů. Popisuje konstrukci, vlastnosti a parametry asynchronních elektromotorů jak na diagnostických zařízeních, tak v reálném provozu. Hlavní snahou je ukázat vlastnosti těchto elektrických strojů při možných ověřovacích zkouškách po případných opravách nebo při instalaci nových strojů uváděných do provozu.

K rozhodujícímu zlomu pro lidstvo došlo v roce 1831, kdy Michael Faraday objevil elektromagnetickou indukci. Od tohoto roku prodělal vývoj elektromotorů velký kus pokrok a dnes se hovoří o elektromotorech energeticky úsporných, jejichž velkou předností je nejen úspora energie při provozu, ale i šetrnost k životnímu prostředí.

Michael Faraday



22. 9. 1791 - 24. 8. 1867

Anglický fyzik, chemik a velký experimentátor **Michael Faraday** se narodil 22. září 1791 [1] nedaleko Londýna (v Newington Butts) v chudé rodině kováře (James Faraday). O prvních letech jeho života je známo velmi málo. V roce 1805 ve věku 14 let nastoupil do učení ke knihaři (George Riebau, Blandford Street). Za 7 let učení našel zalíbení ve vědě, zvláště v chemii.

Od roku 1810 Faraday prováděl své první pokusy v oboru elektřiny. Ve stejném roce se stal členem Městské filosofické společnosti - *City Philosophical Society*. Tato společnost pořádala vědecké přednášky a podporovala sebevzdělávání svých členů. 1. 3. 1813 se stal chemickým laborantem tehdy slavného chemika Humphry Davyho (1778 - 1829) v Královském ústavu v Londýně (jeden ze zákazníků jeho mistra dal v roce 1812 Faradayovi 4 vstupenky na Davyho přednášky v Královském institutu). Od října 1813 do dubna 1815 doprovázel Davyho na jeho vědecké cestě po evropském kontinentu. Mezi lety 1818 a 1822

pracoval s výrobcem chirurgických nástrojů Jamesem Stoddartem na vylepšení kvality ocele. 21. 3. 1821 byl Faraday povýšen do funkce správce Královského institutu. 2. června 1821 se oženil se Sárrou Bernardovou.

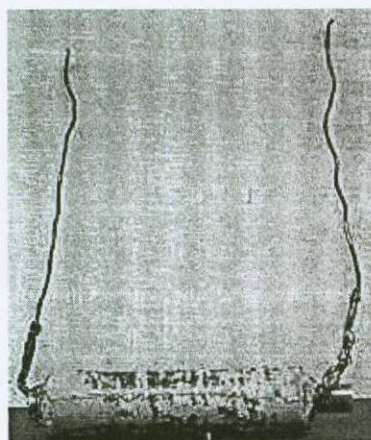
Ve 33 letech se stal Michael Faraday členem Londýnské královské společnosti (a to bez systematického a oficiálního vzdělání).

1.1 Elektromagnetická rotace

V roce 1820 Hans Christian Oersted objevil elektromagnetismus. [1] Bylo zřejmé, že se jedná o významný objev. Oerstedova práce se dostala také k Faradayovi. Vyvrcholením Faradayových pokusů (1821) byl jeho objev elektromagnetické rotace, která je principem elektromotoru.

1.2 Elektromagnetická indukce

Roku 1831 (29. 8.) Michael Faraday objevil **elektromagnetickou indukci**. [1] Zjistil, že magnetické působení proudů je provázeno zpětným působením na proudy. Ovinul železný prsten dvěma drátěnými cívkami. Pustil-li první cívkou proud, nastal při jeho zapnutí proudový náraz v druhé cívce. Když proud přerušil, vznikl proudový náraz opačný.



První Faradayův generátor



Faradayův elektromagnetický prstenec

Faradayovy zákony

1834 - měřením produktů rozkladu při elektrolýze objevil **zákony elektrolýzy**.

Faradayovy zákony vztahující se k elektrolýze:

množství vyloučené látky závisí jen na množství prošlého náboje a je mu úměrné.

K vyloučení jednoho kilogramu kterékoliv látky je třeba téhož množství elektřiny, zvaného *Faradayův náboj* ($F_0 = 9,650 \cdot 10^7 \text{ C}$).

1.3 Publikační činnost

Faraday popsal své experimenty v oblasti elektřiny a elektromagnetizmu v třísvazkovém díle *Experimental Researches in Electricity* (1839, 1844, 1855). [1] Výzkumy v oblasti chemie zaznamenal v díle *Experimental Researches in Chemistry and Physics* (1858). V roce 1860 publikoval sérii šesti dětských přednášek *The Chemical History of a Candle*, které se staly klasikou vědecké literatury.

2 PRINCIPY, KONSTRUKCE A APLIKACE ASYNCHRONNÍCH ELEKTROMOTORŮ

2.1 Princip asynchronního elektromotoru

Fyzikální vlastnosti elektrických strojů vyplývají ze základních zákonů elektrotechniky, které jsou shrnuty sedmi Maxwellovými rovnicemi.[2]

2.1.1 Zákon magnetomotorické síly

$$F = \oint H_s \cdot ds = \sum_{i=1}^n i_i + \frac{d}{dt} \iint D_n \cdot dS \quad (2.1.1)$$

kde: F je magnetomotorická síla (mms)

H_s průmět vektoru intenzity magnetického pole do směru integrační dráhy

ds element integrační dráhy

i_i proud

D_n elektrická indukce

S průřez indukčního toku

t čas

U elektrických strojů se malá časová změna elektrického toku může zanedbat (neuvažují-li se rázové děje) a pro vinutí s N závitů, protékanými tímž proudem i platí

$$F = \oint H_s \cdot ds = Ni \quad [A; A/m; m; A] \quad (2.1.2)$$

Magnetomotorická síla F (podél uzavřené křivky) se rovná algebraickému součtu všech proudů (průtoků) $\sum_{i=1}^n i_i$ uzavřených v křivce.

2.1.2 Zákon elektromagnetické indukce

$$e = -u_i = -\frac{d\Psi}{dt} = -N \frac{d\varphi}{dt} \quad [V; Wb; s] \quad (2.1.3)$$

kde: e je elektromagnetická síla (ems)

u_i indukované (vnitřní) napětí

Ψ spřažený magnetický tok

φ okamžitá hodnota magnetického toku

Elektromotorická síla se rovná záporné časové změně cívkového magnetického toku Ψ , pro který platí za předpokladu, že všemi závity protéká stejný (střední) tok

2.1.3 Zákon elektrického toku

$$\oiint D_n dS = \sum Q \quad [C/m^2; m^2; C] \quad (2.1.4)$$

kde: Q je elektrické množství

Tento zákon se běžně u elektrických strojů nepoužívá, pokud nejde o stroje na vysoké napětí

2.1.4 Zákon magnetického toku

$$\oiint B_n dS = 0 \quad [Wb; T; m^2] \quad (2.1.5)$$

2.1.5 Rovnice pro proudovou hustotu

$$\sigma = \gamma E \quad [A/m^2; \Omega^{-1}; v/m] \quad (2.1.6)$$

kde: γ je měrná vodivost a E intenzita elektrického pole

2.1.6 Rovnice pro elektrickou indukci

$$D = \varepsilon \varepsilon_0 E \quad [C/m^2; F/m; V/m] \quad (2.1.7)$$

kde: ε je poměrná dielektrická konstanta prostředí

$\varepsilon_0 = 8,853 \cdot 10^{-12} [F/m]$ dielektrická konstanta vakua.

2.1.7 Rovnice pro magnetickou indukci

$$B = \mu \mu_0 H \quad [T; H/m; A/m] \quad (2.1.8)$$

kde: μ je poměrná permeabilita prostředí

μ_0 je poměrná permeabilita vakua

2.1.8 Elektromechanická přeměna energie

Fyzikální podstatou točivých elektrických strojů je přeměna buď mechanické energie na elektrickou (generátor) nebo elektrické na mechanickou (elektromotor). Tato přeměna je umožněna elektromagnetickými a elektrodynamickými účinky elektrického proudu.

Princip přeměny elektromechanické energie u elektromotoru plyne z následujícího textu. Vodič napájíme za zdroje elektrické energie o okamžité elektromotorické síle e stejné polarity. Proud i je nyní vodiči zdrojem vnučen a má kladný smysl. Na vodič působí aktivní síla f_{ei} , která podle pravidla levé ruky působí pohyb vodiče v kladném smyslu. Rychlost v naroste na takovou hodnotu, až elektromagnetická síla f_{ie} bude v rovnováze s pasivní mechanickou silou f_{im} (např. tření), která působí vždy v opačném smyslu než síla aktivní. To, co u elektromotoru udržuje proces v pohybu, je elektromagnetická síla f_{ie} . Smysl pohybu a smysl rychlosti v musí u elektromotoru souhlasit se smyslem aktivní síly f_{ie} .

Abychom dostali u elektrických strojů točivý pohyb, umístíme vodiče do tzv. rotoru. Je to válec, který na obvodu v drážkách má uložené vodiče, které spolu tvoří vždy závit resp. cívku o závitů nebo více závitů tak, že je-li jedna strana cívky v magnetickém poli jedné polarity, je druhá strana v poli opačné polarity. Protéká-li vodiči proud i působí na každý vodič závitu vnitřní elektromagnetický moment m_{ie} o velikosti

$$m_{ie} = f_{ie} \cdot \frac{D}{2} = -m_{im} \quad (2.1.8.1)$$

kde D je průměr rotoru a m_{im} je vnitřní mechanický moment. Kdyby magnetické pole vytvořené statorem bylo stejnoměrné (v prostoru má stejnou velikost, směr a smysl), působil by točivý elektromagnetický moment u elektromotoru na cívku jen do polohy, kdy cívka bude procházet plný magnetický tok. Aby dvojice sil působila na vodič ve stejném smyslu pohybu, přejde-li vodič pod opačnou polaritu magnetického pole, musí se měnit smysl proudu ve vodiči. Dosáhneme toho tzv. komutátorem, což je v podstatě mechanický usměrňovač. Pozn.: Tento funkční princip je podstatou stejnosměrného stroje. Vytvoří-li stator točivé magnetické pole kruhové (v prostoru se otáčí konstantní rychlostí a má konstantní velikost), může se působením tohoto pole s magnetickým polem rotoru vytvořit rovněž točivý moment. To je podstatou střídavých strojů. Podle toho, jakým způsobem vznikne magnetické pole rotoru, rozeznáváme střídavé stroje:

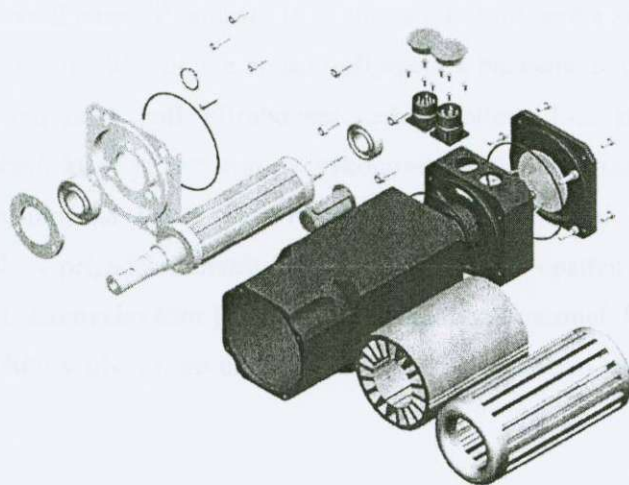
- a) synchronní, u nichž vinutí rotoru je napájeno stejnosměrným proudem. Vytvoří se stejnosměrné magnetické pole, které je spolu s rotorem unášeno stejnou rychlostí jako je rychlost točivého pole tzn., že rotor se otáčí synchronně s točivým polem

- b) asynchronní (indukční), u nichž je magnetické pole rotoru vytvořeno proudy, které jsou indukovány ve vinutí rotoru nakrátko relativním pohybem točivého magnetického pole vůči rotoru. Proto se musí rotor asynchronního elektromotoru otáčet o tolik pomaleji než točivé magnetické pole, aby se indukovalo takové napětí a proudy, které vytvoří potřebný elektromagnetický moment $m_{ie} = - m_{im}$. Rotor se vůči točivému poli otáčí asynchronně.

U asynchronního elektromotoru může při stejném smyslu otáčení stroj přecházet z oblasti motorické do oblasti generátorické a naopak. Mění se pouze smysl průchodu energie strojem, zda je stroji dodáván vnitřní mechanický výkon p_{im} (generátor) nebo vnitřní elektrický výkon p_{ie} (elektromotor).

2.2 Konstrukce a aplikace asynchronních elektromotorů

Na obrázku č. 1 je schématické rozložení konstrukčních dílů asynchronního elektromotoru. [3]



Obr. č. 1 - Konstrukční díly

Konstrukce elektromotoru tak, jak jí známe, může být moderním řešením přizpůsobena jak tvarem, tak i výkonem. Každá výkonová řada ale musí splňovat mezinárodně uznávané normy rozměrů elektromotorů, aby bylo možno provádět změny těchto elektromotorů v případě, kdy jsou zastaralé typy vyřazovány z výrobních programů a nahrazeny řadou novou. Speciální provedení, na přání zákazníka, jsou přesně popsány v technickém komentáři nebo průvodně technickém návodu na obsluhu a údržbu stroje.

Aplikace elektromotorů je opravdu široká od nejběžnějších pohonů čerpadel, ventilátorů až po náročné servopohony a frekvenčně řízené elektromotory.

Elektromotor se skládá s mechanických částí, magnetického obvodu a vinutí.

Mechanické části: kostra elektromotoru, ložiskové štíty, ložiska.

2.2.1 Kostra elektromotoru

Kostra elektromotoru slouží jednak k připevnění elektromotoru k hnanému stroji a zároveň jsou do kostry uloženy ostatní popisované komponenty. Po vložení všech těchto komponent je vytvořen elektromotor. Výrobce elektromotorů vyrábí kostry z různých slitin, nejčastěji jsou kostry litinové nebo ze slitin hliníku.

2.2.2 Přední a zadní ložiskový štít

Tyto štíty jsou přesně svrtány s kostrou elektromotoru a slouží pro osově souměrné uložení rotoru do statoru. Tato osová souměrnost zabezpečuje rovnoměrné dodržení vzduchové mezery uvnitř stroje. Přední štít je ze strany od ventilátoru a zadní štít je u volného konce hřídele. Tvar tohoto štítu určuje způsob připojení k hnanému stroji a pak mluvíme o patkovém, přírubovém nebo patkopřírubovém elektromotoru. Tvar připojení má přesně definovatelné označení, které je uvedeno na výkonovém štítku elektromotoru. Ve vnitřních otvorech štítu jsou uložena ložiska otevřená s možností domazání nebo uzavřená bez možnosti domazání. V případě domazávání je ložiskový štít opatřen mazacími kanálky, nahoře na povrchu ložiskového štítu je zakončen typizovanou maznicí. Ukončení kanálku je uvnitř ložiskového štítu v otvoru pro uložení ložiska tak, aby mazivo směřovalo do prostoru pro mazivo ložiska.

2.2.3 Sestava ložisek

Na obou stranách nosné hřídele jsou ložiska. Na straně hřídele pro umístění spojky, tedy spojení s hnaným zařízením, mohou být ložiska, která jsou konstrukčně navržena tak, že zabezpečují eliminaci zvýšených tlaků od hnaného zařízení. Na straně ventilátoru bývají běžná kuličková ložiska. Speciální uložení ložisek se využívá třeba u lodí, kde se stojící elektromotor pohybuje dle kývání lodí. Tak se vymačkává spodek ložisek a dochází k jejich znehodnocení v určitém rádiu. Tomu se předchází předpnutím ložiska v ložiskovém uzlu.

2.2.4 Hřídel

Na hřídel je nalisován rotor elektromotoru. Ten je složen z magnetických plechů, do kterých je pod tlakem nalita hliníková rotorová klec, nebo může být použita speciální měděná klec. Na hřídel jsou nasazena ložiska. Hřídel je vložen do statoru elektromotoru a zajištěn ložiskovými štíty. Ložiska jsou z obou stran v ložiskovém štítě uzavřena ložiskovými víky.

2.2.5 Stator

Stator je složen z kostry a magnetického obvodu, do kterého je vloženo vinutí elektromotoru.

Kostra je v provedení ze slitin hliníku nebo litinová. Návrh kostry je odvozen od navrhovaného prostředí, ve kterém má zařízení pracovat.

2.2.6 Magnetický obvod a vinutí

Magnetický obvod je složen z magnetických plechů, které mají uvnitř vylisovány drážky pro uložení vodičů. Následně jsou plechy nalakovány izolačním lakem. Z těchto jednotlivých plechů je složen magnetický svazek, který je zajištěn proti uvolnění jednotlivých částí. Do drážek se vkládá nejprve drážková izolace. Pak se navinou jednotlivé cívky, které se vkládají nebo automaty vtahují do drážek v magnetickém obvodu. Po vložení cívek se provede jejich utěsnění v jednotlivých drážkách. Takto připravený magnetický svazek projde impregnační vanou s izolačním lakem. Po impregnaci je izolační lak vytvrzen v pecích. Magnetický svazek je vložen do kostry elektromotoru.

Kvalita všech pracovních operací je následně prověřena zkouškami předtím, než elektromotor opustí výrobní linku. Také po opravách musí splňovat podmínky uvedené konstrukční podmínky

3 ZÁKLADNÍ PARAMETRY ASYNCHRONNÍCH ELEKTROMOTORŮ

3.1 Všeobecné údaje

Navrhování, výroba a užití elektromotorů v provozu se řídí dle platných zákonů, vyhlášek, nařízení vlády, norem a místních provozních předpisů. Kromě základních vyráběných řad jsou i modulární řady nebo řady odvozené. [4]

Ze zákonů uvádím zákon 22/97 sbírky a jejich novelizace. Následují vyhlášky a to 214/97, která se zabývá dodávkami pro vybraná zařízení, především pro jaderné elektrárny a vybrané provozy. Vyhláška 22/97 je pro provádění revizí elektromotorů.

Všichni výrobci k elektromotorům dodávají prohlášení ke shodě. Toto prohlášení obsahuje, že následně označené produkty na základě jejich koncepce a konstrukce odpovídají příslušným základním bezpečnostním požadavkům nařízení vlády. Při neodsouhlasených změnách produktů výrobcem ztrácí toto prohlášení svou platnost. Uvedené produkty jsou určeny k začlenění do jiného strojního zařízení nebo ke smontování s jiným strojním zařízením. Produkt je za podmínek obvyklého a určeného použití bezpečný.

Nařízení vlády:

NV č. 17/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na elektrická zařízení nízkého napětí.

NV č. 18/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility.

Tyto produkty jsou v plné shodě s následujícími harmonizovanými normami:

ČSN EN 60034-1

ČSN EN 60034-5

ČSN EN 60034-6

ČSN EN 60034-9

ČSN EN 60204-1, odst.16

ČSN EN 50081-1

ČSN EN 500081-2

ČSN EN 50082-1

ČSN EN 50082-2

3.2 Elektrické údaje

Elektrické údaje sdružují parametry, od kterých se odvozuje instalovaný výkon, umístění v prostředí provozu a bezpečnost proti úrazu elektrickým proudem.

3.2.1 Napětí, kmitočet, proud

Pokud dojde k odchylkám napětí a kmitočtu vlivem vnějších vlivů, které jsou předem stanoveny normou, musí být elektromotory schopny při těchto odchylkách vykonávat svou funkci. Toto platí za předpokladu, že jejich oteplení může být o cca 10 K vyšší, než mezní hodnoty oteplení uvedené tepelné třídy izolace. Elektromotory musí vždy zajistit svou funkci. Podle požadavku na napětí, zapojení a kmitočtu je pak vinutí realizováno buď jako standardní nebo jako zvláštní. Typy vinutí statorů určují způsob dalšího využití, jako jsou rozběhy elektromotorů, řízení otáček nebo další škálu vlastností, které jsou po elektromotoru požadovány.

3.2.2 Záběrný proud

Proud při zabrzděném rotoru - největší ustálená efektivní hodnota proudu odebíraného ze sítě, naměřená při všech úhlových polohách zabrzděného rotoru při jmenovitém napětí a kmitočtu.

3.2.3 Jmenovitý výkon

Hodnota výkonu, která je součástí jmenovitých údajů (jmenovité výkonnosti). Jmenovitý výkon je mechanický výkon na hřídeli a musí být vyjádřen ve wattech.

Jmenovitý výkon platí pro trvalé zatížení při kmitočtu 50 Hz, teplotě okolí do 40 °C a nadmořské výšce do 1000 m. Ostatní elektromotory pracující v jiných podmínkách, než uvedených, jsou považovány za speciální elektromotory.

Výrobce stanoví, v jaké třídě jmenovité výkonnosti bude elektromotor provozován:

- Jmenovitá výkonnost pro trvalé zatížení - stroj pracuje po neomezenou dobu a vyhovuje podmínkám normy. Označení S1.
- Jmenovitá výkonnost pro krátkodobý chod - stroj pracuje po omezenou dobu, počínaje od teploty okolí a vyhovuje podmínkám normy. Označení S2.

- Jmenovitá výkonnost pro pravidelné zatížení pro práci v cyklech, přičemž vyhovuje podmínkám normy. Druhy pravidelného zatížení S3 až S8.

3.2.4 Výkonnostní štítek

Výkonový štítek elektromotoru obsahuje jmenovité hodnoty, určené obvykle výrobcem pro stanovené pracovní podmínky stroje.

Každý elektromotor musí být opatřen výkonnostním štítkem. Tento výkonnostní štítek nesmí být po dobu životnosti stroje odstraněn nebo vyměněn. Poškozený štítek s nečitelnými údaji musí být doplněn novým přídatným štítkem. Při změnách nebo opravách na stroji je nutno vedle výkonnostního štítku umístit přídatný štítek s doplňujícími údaji.

3.2.5 Účinnost, účiník

Každý výrobce při navrhování elektromotorů provede výpočty parametrů elektromotorů. Hodnoty účinnosti a účiníku jsou počítány pro jmenovité výkony elektromotorů. Účinnost a účiník se ověřuje měřením, zda vypočtené hodnoty odpovídají naměřením údajům. Tyto veličiny dále slouží pro projektování a samotný provoz tak, aby zákazník měl pro výkon stroje a zatížení sítě v místě připojení optimální podmínky pro provozované zařízení. Důležité je dodržet účinnost i při menších zatížení.

3.2.6 Jmenovitý moment

Jmenovitý výkon udává velikost kroutícího momentu na hřídeli elektromotoru.

3.2.6.1 Záběrný moment

Záběrný moment je nejmenší naměřený moment, který elektromotor vyvine na hřídeli při všech úhlových polohách se zabrzděným rotorem při jmenovitém napětí a kmitočtu.

3.2.6.2 Nejmenší rozběhový moment

Nejmenší rozběhový moment je nejmenší hodnota ustáleného asynchronního momentu, který elektromotor vyvine mezi nulovými otáčkami a otáčkami, odpovídajícími maximálnímu momentu (momentu zvratu) při napájení elektromotoru jmenovitém napětím a kmitočtem.

3.2.6.3 Maximální moment

Největší hodnota ustáleného asynchronního momentu, který elektromotor vyvine bez prudkého poklesu otáček při napájení jmenovitým napětím a kmitočtem.

3.2.7 Izolace elektromotorů

Všichni výrobci zaručují vysokou kvalitu izolací a to jak vysokou mechanickou, tak elektrickou pevnost s vysokou užitnou hodnotou a životností elektromotorů. Izolace chrání vinutí před vlivem vniknutí agresivních plynů, par, prachu, oleje a před zvýšenou vlhkostí vzduchu a odolává mechanickému namáhání vlivem vibrací. Izolace jsou rozděleny do teplotních kategorií. Nejběžnější používaná izolace je třídy F dovoleného oteplení 105 K

3.2.8 Ochrana, krytí elektromotorů

Elektromotory se normálně jistí proti přetížení tepelně zpožděnou ochranou - výkonovým vypínačem nebo pomocí relé proti přetížení. Toto jištění je proudově závislé a je zvlášť účinné ve stavu nakrátko. Jako nestandardní ochrana se používají teplotní čidla, která se vkládají do vinutí elektromotoru a ložisek. Tato čidla vyhodnocují teplotu a jsou nastavena do režimu varování a odstavení soustrojí. Většina navržených elektromotorů má stupeň ochrany krytem IP 55. U elektromotorů, které jsou trvale namontovány do zvlášť nevhodného klimatického prostředí, je možno použít antikondenzační vytápění.

3.2.9 Tolerance technických parametrů dle ČSN EN 60034/01, ČSN 35 0000

Název	Hodnota	poznámka
Účinnost $P_n \leq 50$ kW	-0,15(1- η)	H – se dosazuje jako desetinné číslo
Účinnost $P_n \leq 50$ kW	-0,15(1- η)	
Účinitík	$\frac{1 - \cos \varphi}{6}$	1-09/6
Min. absolutní hodnota	0,02	Pro vysoký $\cos \varphi$
Max. absolutní hodnota	0,07	Pro nízký $\cos \varphi$
Skluž	± 20 %	
Záběrný proud	+ 20 %	
Záběrný moment	- 15 % až + 25 %	
Moment zvratu	-10 %	
Moment setrvačnosti	± 10 %	

3.3 Mechanické údaje

3.3.1 Kostra, štíty elektromotoru

Výrobci elektromotorů používají kostry a štíty ze slitin hliníku do osové výšky 100 mm. Pro motory vyšších osových výšek se používá šedá litina, např. GGG 20. Použitá technologie výroby je litím nebo odstříknutím do formy. Následné obrábění je prováděno na obráběcích automatech s vysokou přesností. Na kostry elektromotorů jsou připevněna závěsná oka pro jeřábové manipulace.

3.3.2 Statorový a rotorový svazek

Pro rotorový a statorový svazek se používají dynamo plechy různých parametrů. Plechy jsou dle návrhu konstrukce vystříhány do požadovaných tvarů. Po odstranění břitů, po jejich žihání atd. je provedena jejich izolace. Plechy se skládají do magnetických odvodů se střídavým magnetickým tokem. Pak je vyráběn statorový svazek a rotorový svazek. Statorový svazek je vložen a ustředěn v kostře. Rotorový svazek je složen a do vzniklých drážek je vstříknuta slitina hliníku, která vytvoří kotvu nakrátko. Někteří výrobci pro zvýšení parametrů používají u vyšších výkonů i měděné kotvy. Rotorový svazek se upevňuje na hřídel elektromotoru, a to buď lisováním na pero, nebo jiným vhodným konstrukčním řešením. Kvalita magnetického obvodu výrazně omezuje ztráty v železe.

3.3.3 Ložiska elektromotorů

Na hřídeli elektromotoru jsou umístěny ložiskové uzly. Jsou tvořeny zadním a předním víčkem. Samotné ložisko je uloženo v štítu elektromotoru – přední a zadní. Nominální životnost se určuje výpočtovými metodami podle platných norem. Vhodným provozem lze dosáhnout vysoké životnosti ložisek. Hlavní vliv na životnost ložisek mají otáčky, zatížení a kvalita maziva. Ložiska se používají buď uzavřená pro menší výkony elektromotorů, pro větší výkony se používají ložiska s možností domazání. U domazávaných ložisek se sledují provozní hodiny a podle otáček, výkonu a provozních podmínek se určí interval domazání.

3.3.4 Ukázkový postup

Postup při určování o domazávacího intervalu ložisek T_n při zhoršených provozních podmínkách.

$$T_n = Txq(\text{hod}) \quad (3.3.4.1)$$

$$q = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \text{ korekční faktory} \quad (3.3.4.2)$$

Vliv prašnosti a vlhkosti prostředí:

střední $f_1 = 0,9$ až $0,7$

silný $f_1 = 0,7$ až $0,4$

velmi silný $f_1 = 0,4$ až $0,1$

Vliv rázového zatížení vibrací a kývavého pohybu:

střední $f_{22} = 0,9$ až $0,7$

silný $f_2 = 0,7$ až $0,4$

velmi silný $f_2 = 0,4$ až $0,1$

Vliv vyšších teplot:

střední (do 75°C) $f_3 = 1,0$ až $0,7$

silný (75°C až 85°C) $f_3 = 0,7$ až $0,4$

velmi silný (85°C až 120°C) $f_3 = 0,4$ až $0,1$

Protože při domazávání je dosažena jen částečná výměna nového plastického maziva za staré, je třeba domazávací interval zkrátit.

Obvykle domazávací intervaly jsou $0,5 - 0,7 T_n$

Životnost maziva je v podstatě $2xT$, případně $2xT_n$

3.3.4.1 Určení množství maziva potřebné k domazání

$$m = D \cdot B \cdot x \quad (3.3.4.3)$$

kde: m - množství maziva (g)

D - vnější průměr ložiska (mm)

B - šířka ložiska (mm)

x - faktor závislý na domazávacím intervalu

3.3.4.2 Tabulka hodnot závislosti faktoru na domazávacím intervalu

Faktor x	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005
Domazávací interval	denně	týdně	měsíčně	ročně	každé 2-3 roky

3.3.5 Konec hřídele vyvažování

Vyvažování je prováděno dle platných norem a doporučení výrobce. U elektromotorů starší generace se provádělo vyvážení na celý klínek, dnes je vyvážení na půl klínek. Způsob vyvážení je vyznačen na volném konci hřídele.

3.3.6 Svorkovnice

Poloha skříně svorkovnice se vždy posuzuje ze strany volného konce hřídele (zadní strany). Příводы vodičů se musí dimenzovat podle platných technických norem a doporučení výrobců kabelů. Skříně svorkovnic obsahují svorníky pro připojení fázových, ochranných vodičů a svorky pro jiné účely pro vyvedení čidel a snímačů.

3.3.7 Hluk

Hluk elektromotorů se měří dle ČSN EN 21680-1 v bezodrazovém prostředí při jmenovitém výkonu. Hladina akustického tlaku L_{pFA} v dB je prostorová střední hodnota hladin akustických tlaků měřených na měřicí ploše. Tato měřicí plocha je ve vzdálenosti 1 m od povrchu stroje. Hladina akustického výkonu je rovněž udávána v dB. Doporučená hodnota při 50 Hz s tolerancí ± 3 dB je pro různé osové výšky nejdříve vypočtena a pak odměřena. Stejný postup je pro 60 Hz, ovšem s větší tolerancí cca 0,4 dB. Tyto uvedené hodnoty jsou pro standardní provedení. Pokud se jedná o elektromotory s přepínáním pólů, se zvýšeným výkonem, nebo musejí být provozovány s frekvenčním měničem, hodnoty hluku se mění, ale musí splňovat hygienické požadavky s návazností na uvedenou normu. Pro zlepšení hladin hluku se používají různé technologie výroby. Elektromotory se vybavují například axiálním ventilátorem, nebo radiálním ventilátorem se šikmými lopatkami. Výběr vhodného ventilátoru určuje i směr točení soustrojí.

3.3.8 Otáčky, otáčení točení a ventilace

Uvedené jmenovité otáčky platí pro jmenovitá data. U synchronních otáček se pak mění přímo úměrně s kmitočtem určitého napájecího napětí. Elektromotory ve standardním provedení je možno použít pro oba směry točení. Při dodržení zapojení svorek u pravotočivého připojení fází se elektromotor bude otáčet při pohledu na stranu volného konce hřídele elektromotoru doprava. Tok výkonu je shodný s směrem otáčení při pohledu na stranu D elektromotoru. Elektromotory ve standardním provedení jsou vybaveny radiálním ventilátorem, který chladí nezávisle na směru točení.

4 MĚŘENÍ PARAMETRŮ ASYNCHRONNÍCH ELEKTROMOTORŮ, POPIS A PRINCIP POUŽÍVANÝCH METOD

Zkoušky se provádějí především na oteplení elektrických strojů, jejich elektrickou pevnost a mechanickou odolnost. Tyto zkoušky jsou rozděleny dle potřeb ověřování jednotlivých strojů.

Typová zkouška se provádí ve výrobním závodě, a to u každého stroje v plném rozsahu, předepsaném normami. Účelem této zkoušky je zjištění, zda daný typ vyhovuje požadavkům té normy, podle které byl stroj vyroben.

Patří sem:

- Měření odporů, izolační pevnost, smysl vinutí a osa vinutí, zkouška naprázdno, zkouška nakrátko, zkouška zatěžovací
- Kontrolní zkoušky mají zkrácený program proti typovým zkouškám. Kontrolní zjištění je založeno na přímém posuzování výsledků zkoušek a na porovnání s dřívějšími výsledky typových zkoušek strojů daného typu.
- Speciální zkoušky se provádějí dodatečně k typovým nebo kontrolním zkouškám podle speciálního programu. Jejich účelem je zjistit, zda stroj odpovídá zvláštním požadavkům, stanoveným technickými podmínkami a přesahujícími požadavky norem.
- Výzkumné zkoušky se provádějí u jednoho stroje, nebo skupiny strojů určitého typu, určité série nebo určitého provedení podle zvláštního programu. Výsledkem jsou podklady pro navrhování nových strojů nebo pro technická zdokonalení jak v oblasti materiálů, tak konstrukcí.

4.1 Měření odporů a izolační pevnosti použitých materiálů

Kvalita, přesnost a samotný výpočet odporů je dobrým předpokladem k odhalení případných závad. Teplota okolí, při které se provádí měření, a oteplení samotných vodičů podle způsobu měření ovlivní výsledný odpor. Je zde přímá závislost odporu na teplotě. Odpor vinutí měříme nejprve za studena, a další měření odporů provádíme až po ukončeném oteplení měřeného elektromotoru - oteplovací zkoušce. Měříme vždy stejnou metodou. Měří se odpor každé fáze zvlášť, a pokud je vinutí trvale spojeno do hvězdy, můžeme měřit vždy jen součty odporů dvou fází. U dvoupólových strojů s jednovrstvovým vinutím, kde je různě

veliké vyložení čel jednotlivých fází, dostaneme hodnoty odporů, navzájem se lišící o několik procent, avšak v tomto případě to není známkou nesprávného provedení vinutí. Odpor rotorového vinutí u kroužkových elektromotorů neměříme na svorkách stroje, ale přímo na kroužcích, aby se spolu s odporem vinutí neměřil ještě přechodový a vlastní odpor kartáčů.

Pro výpočet hodnot platí následující vzorce

Zapojení do hvězdy:

$$R_a = \frac{1}{2}(R_{AB} + R_{CA} - R_{BC}), R_b = \frac{1}{2}(R_{BC} + R_{AB} - R_{CA}), R_c = \frac{1}{2}(R_{CA} + R_{BC} - R_{AB}) \quad (4.1.1)$$

$$\text{Pak: } R_a = R_b = R_c = R = \frac{1}{2} R_s \text{ při zapojení do hvězdy} \quad (4.1.2)$$

$$\text{Zapojení do trojúhelníku} \quad (4.1.3)$$

$$R_a = \frac{1}{2} \left[\frac{4R_{BC} \cdot R_{CA}}{-R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}} - (-R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}) \right]$$

$$R_b = \frac{1}{2} \left[\frac{4R_{CA} \cdot R_{AB}}{+R_{AB} - R_{BC} + R_{CA}} - (+R_{AB} - R_{BC} + R_{CA}) \right] \quad (4.1.4)$$

$$R_c = \frac{1}{2} \left[\frac{4R_{AB} \cdot R_{BC}}{+R_{AB} + R_{BC} - R_{CA}} - (+R_{AB} + R_{BC} - R_{CA}) \right] \quad (4.1.5)$$

$$\text{Pak: } R_a = R_b = R_c = R = \frac{3}{2} R_s \text{ pro zapojení do trojúhelníka} \quad (4.1.6)$$

Při měření činného odporu vinutí musí být dodržena tato ustanovení:

a) Měřit odpor odpovídajícím přístrojem s požadovanou třídou přesnosti

Nejpoužívanější metody měření :

- Volt-ampérová metoda
- Odporové můstky (Wheatstonův nebo Thomsonův),

b) Udávat odpor vinutí, přepočtený na teplotu + 20 °C. Byl-li odpor měřen při jiné teplotě, přepočítává se na základní teplotu

- c) Teplota vinutí při měření se může považovat za rovnou teplotě okolí, jestliže neohřátý stroj je v daném prostředí alespoň 8 hodin a výkyvy teplot nejsou větší jak $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C/hod}$. Teplota se měří s přesností na min. $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.2 Izolační pevnost

Vyjadřuje odolnost vinutí pracovat na požadovaném provozním napětí. Ověřuje se zkouškami:

- Závitové izolace při 130% provozního napětí
- Měřením izolačního odporu vinutí proti kostře
- Zkouškou výdržným napětím proti kostře (VN zkouška) $2U + 1000 \text{ V}$

Zkouška izolace, která se má pokud možno provádět na teplém stroji, posuzuje se podle hodnoty izolačního odporu vinutí proti kostře. Tato zkouška se skládá ze zkoušky izolace vinutí, a zkoušky izolace závitů.

4.3 Zkoušky izolace vinutí

U vinutí zjišťujeme, zda je dostatečná izolační pevnost jednak mezi jednotlivými vinutími, jednak mezi vinutím a aktivním železem. Velikost zkušebního napětí je určena normou ČSN 35 0010 podle velikosti stroje a jeho jmenovitého napětí. Elektromotory do napětí 500 V se zkoušejí měřičem do 500 V a elektromotory nad 500 V se zkoušejí měřičem do 1000 V. Elektromotory s napětím 6000 V a vyšším se zkoušejí pomocí měřiče o napětí 2500 V až 5000 V.

Druhy měření:

- a) měření minutové
- b) měření desetiminutové – při měření absorpčních charakteristik u velkých strojů
- c) měření prověřovací – provádí se v provozu jako kontrola stavu

Při měření přiložíme hroty od měřiče na měřené místo (vývod vinutí a kostra). Měříme po stanovenou dobu, aniž bychom měření přerušili.

4.4 Energetická bilance - řeka ztrát

Pro odvození jednotlivých napět'ových rovnic asynchronního elektromotoru použijeme základní vztahy. [2]

$$\bar{U}_1 = (R_1 + jX_1)\bar{I}_1 + \bar{U}_{i1} \quad (4.4.1)$$

$$\bar{U}_2 = (R_2 + jX_2)\bar{I}_2 + s\bar{U}_{i2} \quad (4.4.2)$$

Pak pro celkový výkon statoru a rotoru platí

$$P_1 = \Delta P_{j1} + P_{i1} + \Delta P_{Fe} \quad (4.4.3)$$

$$P_2 = P_j - P_{j2} \quad (4.4.4)$$

kde: $\bar{I}_1^*, (\bar{I}_2^*)$ - komplexně sdružená hodnota k vektoru proudu

$\Delta P_{j1}, (\Delta P_{j2})$ - Jouleovy ztráty statoru (rotoru)

$P_{i1}, (P_{i2})$ - vnitřní výkon statoru (rotoru)

$m_1, (m_2)$ - počet fází statoru (rotoru)

P_1, P_2 - činný elektrický výkon na statoru (rotoru)

Výchozí rovnice pro obecný chod asynchronního elektromotoru plyne z vektorového diagramu asynchronního stroje při zahrnutí ztrát v železe.

$$I_1 \cos \psi_1 = I_{Fe(s)} - I_2' \cos \psi_2 \quad (4.4.5)$$

Jelikož P_{i1} platí ($m_1 = m_2 = m$)

$$P_{i1} = mU_{i1}I_1 \cos \psi_1 \quad (4.4.6)$$

úpravou dostáváme při použití vnitřních napětí

$$P_{i1} = mU_{i1}I_{Fe(s)} - mU_{i1}I_2' \cos \psi_2 \quad (4.4.7)$$

tedy dostáváme

$$P_{i1} = \Delta P_{Fe1} + P_{iFe2} - P_{i2} = \Delta P_{Fe1} + P_{i\sigma} \quad (4.4.8)$$

V podsynchronismu ($s > 0$) se na rotor přes vzduchovou mezeru přenáší točivým magnetickým polem výkon $P_{i\sigma}$ (při $\Delta P_{Fe2} = 0$ je i $P_{Fe2} = 0$)

$$P_{i\sigma} = \Delta P_{Fe2} - P_{i2} \quad (4.4.9)$$

Část tohoto přenášeného výkonu se musí spotřebovat na ztráty v rotoru (případně elektrický výkon P_2) a část je k dispozici jako mechanický výkon.

$$P_{i\sigma} = \frac{\Delta P_{j2} + \Delta P_{Fe2} - P_2}{s} = \frac{\Delta P_2}{s} \quad (4.4.10)$$

kde ΔP_2 jsou celkové elektrické ztráty v rotoru, zahrnujeme-li do nich i výkon P_2 . Zbývající část $(1 - s) P_{i\sigma}$ je rovná vnitřnímu mechanickému výkonu P_{im} , takže podle spotřebitelského systému platí

$$(1 - s)P_{i\sigma} = -P_{im} = -P_m + \Delta P_m \quad (4.4.11)$$

kde: P_m -mechanický výkon na hřídeli

ΔP_m -mechanické ztráty

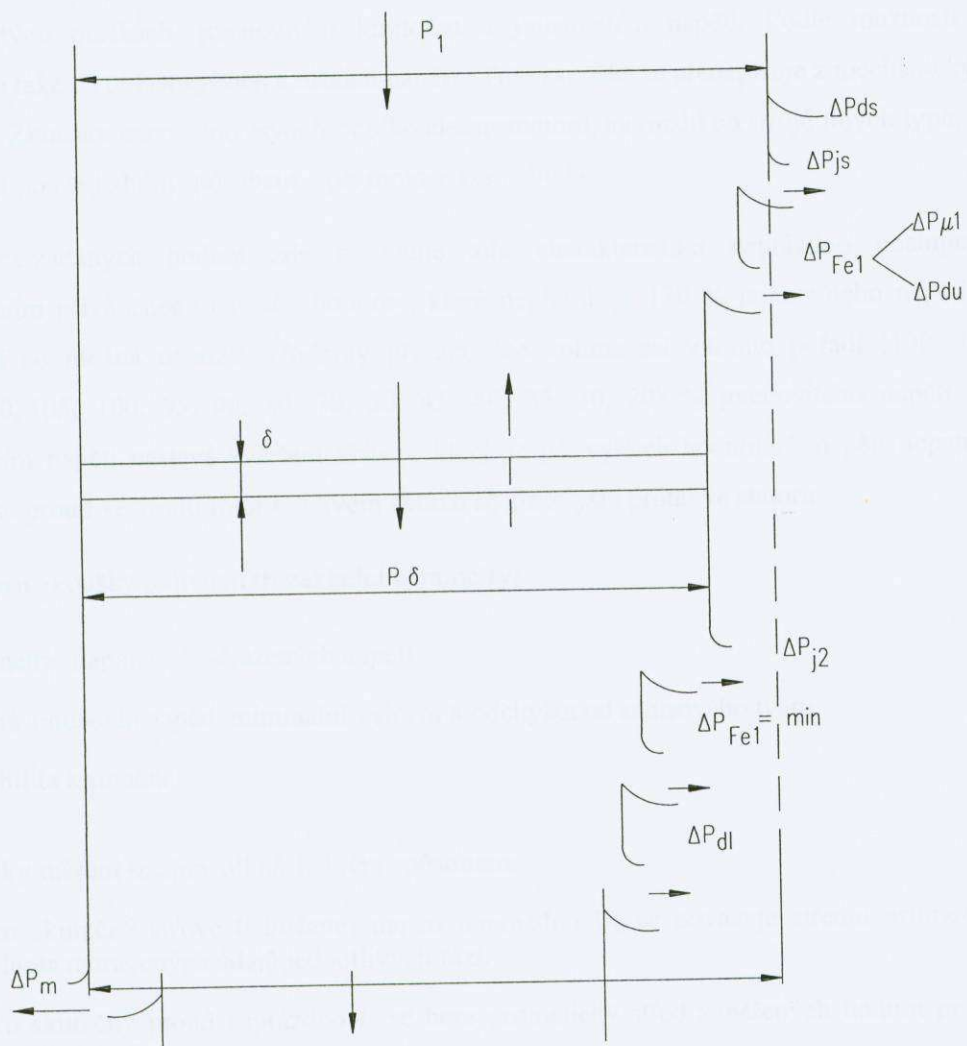
Z uvedených vztahů plyne konečná bilance

$$P_1 = \Delta P_{j1} + \Delta P_{j2} + \Delta P_{Fe1} + \Delta P_{Fe2} - P_2 - P_m + \Delta P_m \quad (4.4.12)$$

Z funkčního principu asynchronního elektromotoru vyplývá, že pracuje při skluzu.

$$1 \geq s > 0$$

Přenášený výkon vzduchovou mezerou je kladný tj. přenáší se ze statoru na rotor. Jeho s -část se spotřebuje na celkové elektrické ztráty v rotoru a na hřídeli je odebrán mechanický výkon. Na mechanickém výkonu asynchronního elektromotoru se podílejí bezprostředně ztráty v rotoru. Obrázek č. 2 ukazuje jakým způsobem jsou rozloženy složky výkonových poměrů a ztrát v elektrickém stroji.



Obr. č. 2 – Grafické znázornění výkonových poměrů a ztrát v elektrickém stroji

4.5 Zkouška naprázdno

Pomocí ní se získají informace o vlastnostech magnetického obvodu, o ztrátách při běhu elektromotoru naprázdno (bez zatížení) a mechanických vlastnostech (ložisek). Provádí se při jmenovitých otáčkách, jmenovitém kmitočtu a jmenovitém napětí. Podle možnosti se rozšiřuje také na oblast vyšších a nižších napětí. Tato zkouška se předepisuje z mechanických důvodů. Zkoušku naprázdno asynchronního elektromotoru, na rozdíl od strojů jiných typů, lze provádět pouze jedním způsobem – při motorickém chodu.

Ze zadaných hodnot zde určujeme zde charakteristiku naprázdno postupným snižováním přiváděného napětí z hodnoty, která nepřesahuje 130 % jmenovitého napětí na hodnotu co možná nejnižší. Hodnoty při zkoušce volíme asi v tomto pořadí (130, 125, 120, 110, 105, 100, 95, 90, 80, 70, 50, 45, 40, 35, 30, 20) % jmenovitého napětí. Při snižujícím napětí nastává zvětšení skluzu, který je při vyšších hodnotách napětí nepatrný. Zvětší se proud ve vinutí rotoru, vlivem skluzu se ale zvýší i proud ve statoru.

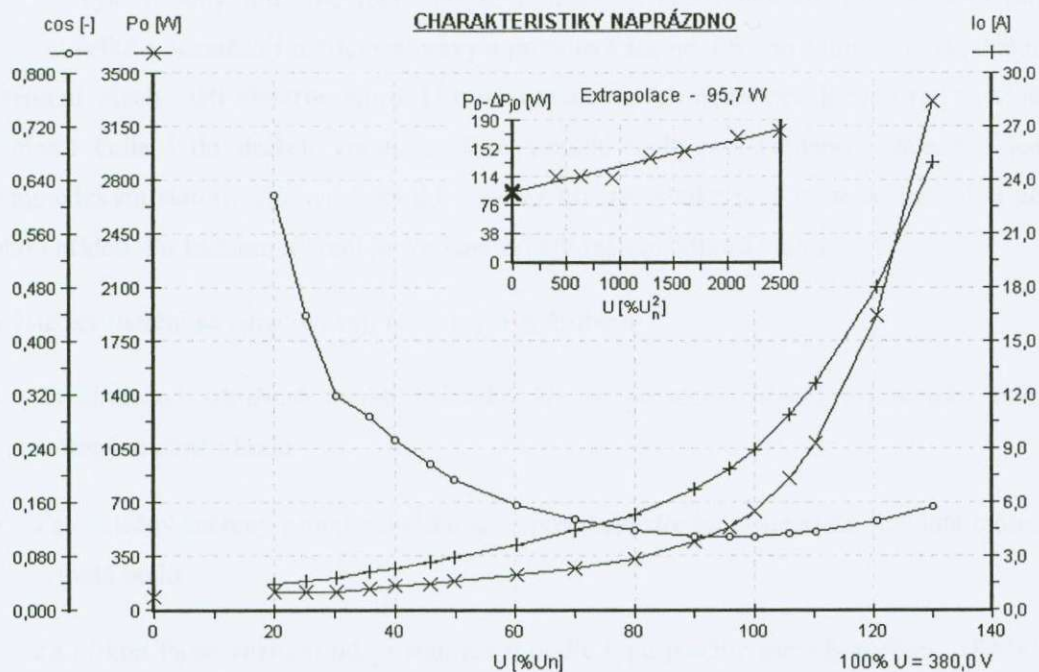
Správnost zkoušky ovlivňují tři základní parametry:

- Symetrie napájecích sdružených napětí
- Čistá sinusoida napětí, minimální zvlnění a odchylka od sinusového tvaru
- Stabilita kmitočtu

Výsledky měření se zpracují následným způsobem:

- Jako skutečné síťové (sdružené) napětí naprázdno U_0 se považuje střední aritmetická hodnota naměřených údajů jednotlivých fází.
- Jako skutečný proud naprázdno I_0 se bere aritmetický střed z měřených hodnot proudů jednotlivých fází.
- Jako příkon P_0 se berou údaje wattmetrů podle typu použité metody měření. (Běžně se používá metoda dvou wattmetrů resp. 3 wattmetrů)
- Účinník se vypočte z naměřeného činného příkonu a středních hodnot napětí a proudů. Při vyšších hodnotách napětí je účinník velmi nízký, při nižších hodnotách napětí, než je jmenovité napětí, se účinník zvětšuje.

Na obrázku č. 3 je znázorněn průběh charakteristik U_0 , I_0 , P_0 a $\cos\varphi_0$. Ztráty v železe závisí přibližně na čtverci napětí. Proud naprázdno má průběh obdobný, jako magnetizační křivka. Extrapolací příkonu do nuly napětí se určí mechanické ztráty – ztráty ventilační a ztráty třením.



Obr. č. 3 - Grafický průběh charakteristiky naprázdno

4.6 Zkouška nakrátko

Spojením asynchronního elektromotoru rozumíme napájení statorového vinutí při rotoru spojeném nakrátko a zabrzděném. Při spojení nakrátko je elektromotor ve stavu spouštění a proto je možno z výsledků této zkoušky určit hodnoty charakteristické pro spouštění, jako jsou záběrný proud a záběrný moment. Měření nakrátko je velmi obtížné a to proto, že po zapnutí přivádíme na svorky hodnoty napětí, které se postupně zvyšuje až na hodnoty jmenovitého napětí. V elektromotoru se vytváří až několikanásobně vyšší proud, než je proud jmenovitý. Zde se všechna spotřebovaná energie mění na teplo a to jak v statoru, tak i v rotoru a v jejich vinutí. Může snadno dojít k porušení izolace vlivem vysokých teplot a následné destrukci zkoušeného elektromotoru.

Z těchto důvodů se provádí zkouška nakrátko jen při krátkodobém přivedení napětí, aby nedošlo k nadměrnému ohřevu. Pokud to umožní energetická napájecí síť, je možné při zkoušce nakrátko dosáhnout až jmenovitých hodnot.

Pokud toto provést nelze, je možné za určitých předpokladů provést extrapolace naměřených hodnot na jmenovité napětí.

Tyto proudy můžeme měřit pouze u menších elektromotorů, protože tyto proudy nejsou velké a nezatěžují měřící soupravy a proudové zdroje. Při této zkoušce je vhodné měřit oteplení všech částí elektromotoru. U nově navrhovaných nebo vývojových řad se vkládají teplotní čidla i do drážek vinutí, protože vzniklé teplo je odváděno i železem, jednak magnetickým statorovým svazkem do samotné kostry a také přes rotor do ložisek a konců obou hřídelí. Po každém měření je vhodné zajistit měření odporů vinutí.

Výsledky měření se zpracovávají následným způsobem:

- Za skutečné sdružené napětí nakrátko U_k se považuje střední aritmetická hodnota měřených napětí bodu
- Za skutečný měřený proud nakrátko I_k se považuje střední aritmetická hodnota měřených proudů bodu
- Za příkon P_0 se vezmou údaje wattmetrů podle typu použité metody měření. (Běžně se používá metoda dvou wattmetrů resp. 3 wattmetrů)
- Účinnost se vypočte z naměřeného činného příkonu a středních hodnot napětí a proudů. Při vyšších hodnotách napětí účinnost je velmi nízký a při nižších hodnotách napětí, než je jmenovité, se zvětšuje.

Ztráty ve vinutí statoru ΔP_{j1} se určí způsobem:

$$\text{pro spojení do hvězdy} \quad \Delta P_{j1} = 3I_k^2 \cdot R_1 \quad (4.6.1)$$

$$\text{pro spojení do trojúhelníka} \quad \Delta P_{j1} = I_k^2 \cdot R_1 \quad (4.6.2)$$

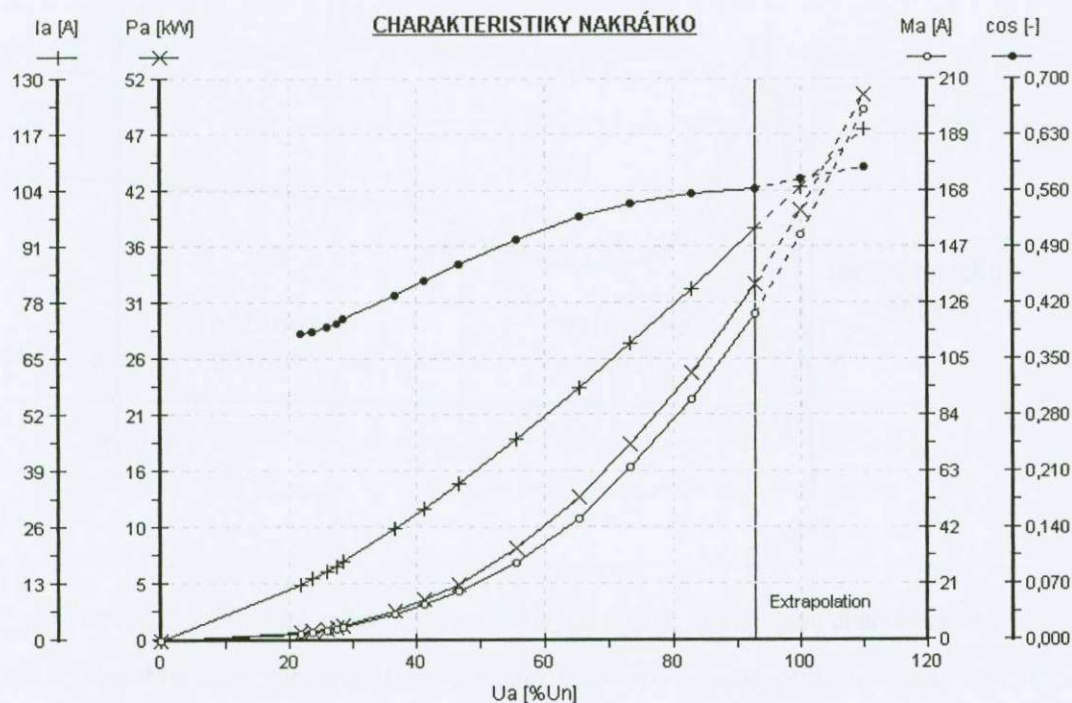
$$\text{nebo podle vzorce} \quad \Delta P_{j1} = 1,5 \cdot I_k^2 \cdot R_{1S} \quad (4.6.3)$$

kde: I_k sdružený proud nakrátko, R_1 odpor 1 statorové fáze (při teplotě v okamžiku měření) a R_{1S} odpor měřený mezi svorkami.

Ztráty v rotorovém vinutí jsou úměrné točivému momentu, takže můžeme tento moment vyjádřit v jednotkách výkonu, tzn. ve W nebo kW. Pro převod této hodnoty na mechanické jednotky točivého momentu platí:

$$M_k = 973 \frac{\Delta P_{j2}}{n_s} \quad [kgm] \quad (4.6.4)$$

Na obrázku č. 4 je znázorněn průběh charakteristik nakrátko.



Obr. č. 4 - Grafický průběh charakteristiky nakrátko

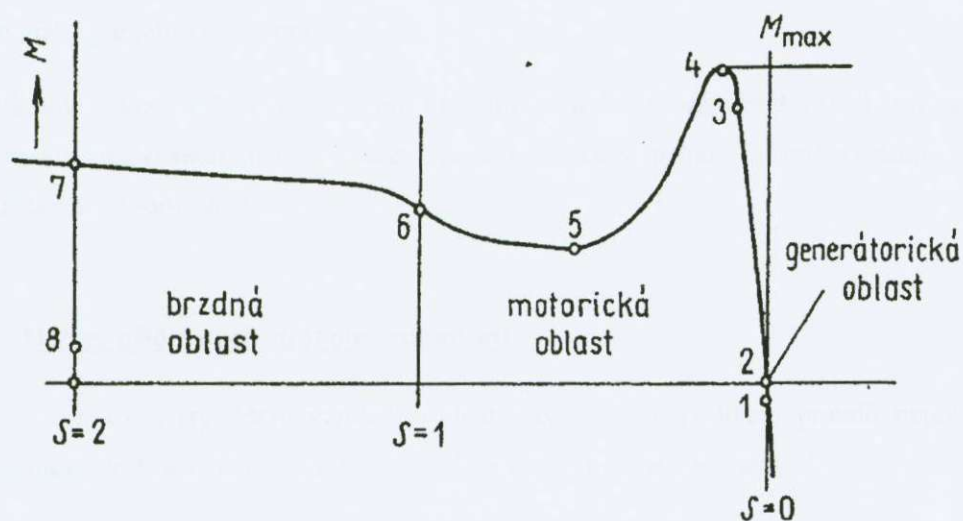
Pozn.: U motorů s kotvou nakrátko se může moment určit i pomocí přímého měření.

Vzhledem k tomu, že moment může záviset na poloze rotoru a statoru, je nutno měřit moment v rozmezí mezi dvěma po sobě jdoucími polohami maximálního momentu. Tímto určíme maximální a minimální moment.

4.7 Momentová charakteristika

Momentová charakteristika asynchronního elektromotoru patří mezi základní charakteristiky z programu typové zkoušky. [5,6] Představuje závislost momentu na skluzu. Používá se především k posouzení rozběhových vlastností, jako je záběrný a minimální moment, moment zvratu, ale obecně z ní lze získat mnoho dalších informací o vlastnostech elektromotoru.

Na obrázku č. 5 je idealizovaný průběh částí momentové charakteristiky, na němž jsou vyznačeny body, které přísluší různým provozním stavům a z hlediska měření jsou určeny k posuzování vlastností asynchronního elektromotoru.



Obr. č. 5 - Grafické znázornění jednotlivých oblastí momentové charakteristiky

Bod 1 charakterizuje synchronní stav; v jeho blízkosti se měří přídavné ztráty závislé na napětí (ΔP_{du}).

Bod 2 představuje stav naprázdno, při němž se měří charakteristika naprázdno a určuje část ztrát asynchronního elektromotoru.

Oblast bodů 2 – 3 odpovídá oblasti zatěžovacích zkoušek, jejichž součástí je i oteplovací zkouška, charakterizující jmenovitý stav elektromotoru.

Bod 4 znamená maximální moment nebo také první moment zvratu.

Oblast bodů 5 - 6 v této oblasti se obvykle nachází minimální rozběhový moment a také parazitní momenty, způsobené vyššími harmonickými magnetomotorického napětí stroje. Velikost minimálního momentu mohou rozhodující měrou ovlivnit také přídavné ztráty závislé na proudu ΔP_{dt} , které obvykle blízko za bodem 4 směrem k bodu 5 nabývají svého maxima. Protože v podstatě celá část přídavných ztrát, závislých na proudu, je hrazena z mechanického výkonu, respektive točivého momentu ve vzduchové mezeře, může být jejich podíl na snížení momentu v této oblasti značný.

Bod 6 odpovídá stavu nakrátko, při kterém se určuje charakteristika nakrátko, tedy záběrné poměry elektromotoru.

Oblast mezi body 6 - 7 je brzdňá oblast, která se u asynchronního elektromotoru uplatňuje při reverzačním režimu práce. Velikost brzdňého momentu mohou i zde ovlivňovat přídavné ztráty, tak i parazitní momenty.

Bod 8, kde skluz $s = 2$, se využívá pro náhradní metodu určování přídavných ztrát závislých na proudu, nazývanou metoda otáčení proti poli. Tato metoda měření vyžaduje výborné technické a odborné znalosti.

4.8 Měření přídavných ztrát elektromotorů

Jsou to ztráty, které vznikají v elektrických strojích vlivem proudů nepracovních harmonických. Můžeme je rozdělit : závislé na napětí a závislé na zatížení.

4.8.1 Přídavné ztráty závislé na napětí

Jsou způsobeny proudy nepracovních harmonických, jež odvozují svůj původ od základní vlny magnetického pole. Mění se přibližně a druhou mocninou napětí. Naměříme je jako část ztrát v železe při měření naprázdno.

4.8.2 Přídavné ztráty závislé na zatížení

Vznikají v důsledku nepracovních harmonických, které souvisí se soustředěným proudovým obsahem drážek. Sem patří též ztráty v konstrukčních částech vlivem rozptylového magnetického toku. Vyskytují se jen při zatížení.

4.8.3 Složky přídavných ztrát

- a) Přídavné ztráty s kmitočtem sítě ve statorovém obvodu vlivem skin efektu a rozptylových polí.
- b) Povrchové ztráty v železe statoru a rotoru
- c) Pulsační ztráty v zubech statoru i rotoru
- d) Ztráty v rotorovém vinutí vlivem proudů vyšších harmonických pole.
- e) Ztráty vlivem přechodu proudu mezi klecí a paketem u natočených drážek a neizolovanou klecí rotoru

Uvedené složky ztrát tvoří jak přídavné ztráty závislé na napětí, tak i závislé na zatížení.

Ve stavu naprázdno vznikají především ztráty povrchové a pulsační, v zatížení může převládat kterákoliv ze složek podle způsobu provedení a výroby elektromotoru.

4.8.4 Měření přídavných ztrát.

Měření přídavných ztrát je jedno z nejobtížnějších měření na asynchronních strojích a vyžaduje dobrou teoretickou přípravu. Již proto, že je není možné v žádném případě naměřit jako samostatnou složku a měříme je vždy jen jako jejich celkovou hodnotu.

5 POPIS DIAGNOSTICKÝCH ZAŘÍZENÍ

5.1 Projekt, příprava a realizace měření

Každé měřené zařízení vyžaduje především vlastní úvahu – projekt a materiální a přístrojovou přípravu. Vlastní měření je odrazem projektu a přípravy.

Rozsah přípravy je závislý zejména na:

5.1.1 Druhu měření

Může se jednat o měření, jehož cílem je zjištění nových poznatků o měřeném objektu. Takovému měření bude jistě předcházet pečlivější příprava, než u měření, jehož úkolem je pouze ověření poznatků již o zařízení již známých.

5.1.2 Měřeném objektu

Menší stroje kladou malé nároky na zkušebnu a běžná provozní měření. U velkých strojů je třeba zajistit i návazné komponenty, které jsou spojené se zařízením.

Z hlediska druhu měření kladou největší nároky výzkumně – vývojová měření a typové zkoušky. Naopak nejmenší nároky jsou u kusových zkoušek a rutinních (provozních) měření. Nejvíce času zabírá obvykle příprava měření a zpracování výsledků.

5.1.3 Pro měření stanovujeme hlavní cíl při vyloučení běžných rizik

Uvažujeme o formulaci záměru měření a klademe si cíle pro jeho měření. Správně stanovit reálný cíl je mnohdy obtížné. Vyžaduje to odborný rozhled, zkušenosti a znalosti. Měření musí být proveditelné vzhledem k možným nákladům.

Provozní měření se provádí běžnou pochůzkou a sběrem dat, které se následně vyhodnocují. V případě poruchy strojů se provádí rozsáhlejší měření, která obsahují většinou celou sestavu zařízení.

5.1.4 V projekt netypických měření zvolíme kritéria

- Vhodné měřicí metody
- Způsob napájení a postupné zatěžování zkoušeného stroje např. výkon zdrojů
- Požadavky na měření jako jsou počet měřených bodů, čidel, druhy a úrovně signálů, četnost měření.
- Časové průběhy, předběžné požadavky na zpracování naměřených dat
- Průběžná kontrola teploty měřeného stroje a čidel, přepočty a výstup výsledků
- Správně zvolená kabeláž s případným odstínění jednotlivých měřících prvků.

5.1.5 Realizace zkoušky

Realizace zkoušky: k předem připravenému programu se stanoví vedoucí zkoušky a pracovníci budou poučeni o provádění celého postupu měření. Vhodnou organizací se optimalizuje ekonomičnost měření. Každý rozběh stroje je nákladná činnost a může dojít k chybám, které mohou výrazně ovlivnit kvalitu měření. Každý krok měření musí být bezpečný jak pro měřený stroj, tak i pro měřitele. Výsledky měření jsou vždy zapisovány a případně i zálohovány. předem připravenému programu se stanoví vedoucí zkoušky a pracovníci budou poučeni o provádění celého postupu měření. Vhodnou organizací se optimalizuje ekonomičnost měření. Každý rozběh stroje je nákladná činnost a může dojít k chybám, které mohou výrazně ovlivnit kvalitu měření. Každý krok měření musí být bezpečný jak pro měřený stroj, tak i pro měřitele. Výsledky měření jsou vždy zapisovány a případně i zálohovány. V průběhu měření měřené hodnoty průběžně zpracováváme. Tak ovlivňujeme kvalitu celkového měření. V případě nejasností k měřenému bodu přiřadíme operativně nový kontrolní měřený bod.

Vyhodnocení měření: v této fázi se jedná o zpracování výsledků. V současné době se snažíme veškerá naměřená data zpracovat pomocí PC. Zvolíme vhodnou prezentaci – grafy, tabulky a závěry z měření, podle kterých jsou následně vystavena doporučení pro další provoz zařízení.

5.2 Dynamometry

Měřicí pracoviště pro zkoušky asynchronních elektromotorů je vybaveno asynchronním zatěžovacím dynamometrem a napájecím rekuperačním měničem, natáčivým transformátorem pro napájení AC elektromotorů, ovládacím a měřícím zařízením. [7] Sběr a zpracování dat zajišťuje řídicí počítač. Pro zpracování měřených dat je instalován speciální program, který naměřené hodnoty postoupí pro vyhodnocení. Vyhodnocovací program

přepočítá naměřené hodnoty jednotlivých zkoušek a podle zadaných kritérií (dle norem ČSN) vytvoří sumární protokol o elektrických a mechanických hodnotách, odpovídající katalogovým, tedy konstrukčním výpočtům nebo jejich odchylkám. Oba programy pracují odděleně tak, aby nemohly být ovlivněny hodnoty měřené a hodnoty zpracované.

Pracoviště může pracovat v automatickém režimu měření nebo režimu ručního měření. Použití automatických měření je především u výrobních pásů, nebo tam, kde je měřeno více strojů, aby nedocházelo k časovým ztrátám. Automatické zkoušky mají výhodu v rychlosti, přesnosti měření, jsou přesně nadefinovány body, které mají být změřeny. Pak u měřeného stroje dochází k rovnoměrnému prohřívání, plynulému přechodu od bodu k bodu, vyloučení rizik, které jsou u ručního měření. Obsluha pracoviště jen dorovná hodnoty napětí a po dorovnání požadované hodnoty zapíše měřený bod. Pro příklad uvádím dobu zatěžovací zkoušky, která netrvá víc, jak cca 5 min.

Ruční měření je založeno na zkušenostech a rychlé orientaci obsluhy. U ručního měření může docházet k nerovnoměrnému prohřívání měřeného stroje a tedy různým zkreslením. Toto jsou chyby lidského faktoru. Zápis a odečet hodnot z měřících přístrojů provádí vždy více pracovníků, protože jeden pracovník nemůže najednou sledovat více přístrojů.

U požadovaného měřícího pracoviště musí být zajištěno stabilní napájení, a protože při provozu je vyzařován ztrátový výkon formou tepla, je nutná dostatečná ventilace.

5.2.1 Vlastnosti a provedení

Popisované zkušební zařízení se stává z těchto komponent:

- Pohon pracoviště tvoří sestava asynchronního dynamometru ASD50K-4 firmy VUES a napájecím frekvenčního rekuperačního měničem SIEMENS,
- Natáčivý transformátor (booster)
- Vstupní rozvaděč
- Měřicí jednotka s pomocnými napájecími a řídicími obvody, se systémovou měřicí jednotkou, snímači teploty, pomocnými zdroji a regulační jednotkou R278AA pro regulaci pohonu
- Řídící PC s příslušenstvím
- Multifunkční přístroj pro měření elektrických veličin YOKOGAWA WT 130[®], čítač MT 620F pro měření otáček
- Kompletní kabelové propojení pracoviště

5.2.2 Vstupní napájecí rozvaděč

Skříň rozvaděče slouží pro jištění a napájení měřicího pracoviště. V horní části skříně jsou umístěny jisticí a ovládací přístroje. Ve střední části je umístěn zdroj konstantního proudu R313 pro měření odporů včetně oddělovacích reléových modulů. Ve spodní části je jištění výstupního vedení natáčivého transformátoru, jištění výstupních zásuvek a svorkovnic pro AC elektromotory do 200 A.

Na čelních dveřích jsou ovládací prvky a výstupní zásuvky a svorkovnice včetně zásuvek pro měření vibrací a teploty.

5.2.3 Měřicí jednotka YOKOGAWA WT 130®

Je to multifunkční zařízení, které slouží pro měření parametrů zkoušených elektromotorů. Provádí se měření 3 sdružených napětí a proudů, celkového elektrického příkonu a frekvence napájecí sítě. Měřidlo měří s přesností 0,25 % v rozsahu napájecích frekvencí 50 až 60 Hz. Přístroj je vybaven sériovým rozhraním pro možnost připojení na řídicí počítač. Rozsah měřeného napětí je možné na přístroji nastavit do hodnoty 600 V, při rozsahu proudů 20 A. Proudový rozsah je v systému nastaven na 5 V, při měření s proudovými transformátory 50 A a 200 A. Rozsah měření je volen automaticky podle velikosti zkoušeného elektromotoru.

5.2.4 Natáčivý transformátor

Je typu BA 94-2 a slouží pro regulaci napájecího napětí zkoušeného stroje v lineárním rozsahu od 50 V až 700 V. Výstupní proud do 200 A.

5.2.5 Systémová měřicí jednotka

Systémová měřicí jednotka je nakonfigurována na požadované vlastnosti zkušebního pracoviště. Je určena pro měření teplot s odporovými nebo termoelektrickými snímači teplot. Je spojena s řídicím PC přes síťovou komunikační linku LAN.

Technické parametry základního přístroje GBDT:

- Rozměry 73 x 200 x 118 mm
- Provozní rozsah teplot -5 až +50 °C
- Dvouřádkový displej
- Ovládací prvky pro komunikaci

Parametry modulu ADIT

- 10 kanálů s rozlišením 16 bit, integrační převodník A/D převod, samokalibrace
- 1 kanál D/A výstupní, 0 – 20 mA
- 1 stavový vstup
- přesnost měření napětí nebo proudu (mA) je 0,01 % z platného rozsahu
- Pt 100 rozlišení 0,1 °C
- Termočlánek je posuzován jako analogové napětí s přesností 0,01 % z rozsahu
- Každý kanál má individuálně volitelné parametry

5.2.6 Měřič frekvence

Tento měřicí přístroj je využit pro měření frekvence z inkrementálního snímače asynchronního dynamometru – ta odpovídá otáčkám na hřídeli dynamometru. Jedná se o programovatelný 6 místný zobrazovací přístroj typ OM 625 UC firmy ORBIT MERRET® s měřicím rozsahem < 100 kHz vybavený datovým výstupem RS232.

5.2.7 Zdroj konstantního proudu R313

Jednotka slouží pro napájení vinutí zkoušených elektromotorů při měření odporů. Nastavení výstupní proud odpovídá měřicímu rozsahu odporů.

5.2.8 Pohon zkušebního pracoviště

Pohon zkušebního pracoviště tvoří již zmíněná sestava asynchronního dynamometru ASD 50K - 4, 50 kW s napájecím rekuperačním frekvenčním měničem Siemens Simovert, 55 kW Masterdrivers® a regulační jednotkou R278AA. Pohon umožňuje práci v otáčkové a momentové vazbě ve čtyřkvadrantovém provozu.

Parametry asynchronního dynamometru:

- | | |
|---------------------------|-------------------------------|
| - Typ | ASD 50K-4 |
| - Výkon | 50 kW |
| - Otáčky | 1500 až 360 min ⁻¹ |
| - Moment | 312 Nm |
| - Proud | 87 A |
| - Max. otáčky | 4000 min ⁻¹ |
| - Regulační rozsah otáček | 4000 min ⁻¹ /10 V |
| - Měření momentu | Snímač síly INTERFACE SM500 |

- Regulační rozsah momentu	350 Nm/10V
- Směr otáčení	oboustranně
- Zatížení	trvalé
- Krytí	IP 23
- Snímač teploty ložisek	Pt 100
- Snímač teploty vinutí	KTY84-130, PTC termistor 800/500/80 145 °C
- Počet volných konců hřídele	jeden

Na druhém konci hřídele je umístěn vestavný inkrementální snímač ROD 426.

Chlazení cizí ventilace IC 05 dle ČSN 35 0006.

Ve všech provozních stavech dynamometru pracuje vnější ventilátor.

5.2.9 Napájecí měnič kmitočtu Siemens

Rekupační měnič kmitočtu skříňového provedení umožňuje provoz ve čtyřech kvadrantech s vektorovým řízením se zpětnou vazbou otáček. Napájecí část je tvořena rekupační jednotkou AFE s tranzistorovým mostem. Tato jednotka v součinnosti se vstupním filtrem vytváří prakticky sinusový proud a nedeformuje napájecí síť. Měnič dále obsahuje odrušovací filtr pro odrušení na mez A1, vstupní tlumivku pro utlumení rušivých signálů a snížení napětěových špiček a převodník DTI pro inkrementální snímač otáček.

Parametry měniče kmitočtu

- Typ	6SE7131-1EE61-5BAO-Z [®]
- Napájecí napětí	3 x 400V ±15 %
- Napájecí kmitočet	50/60 Hz ± 6 %
- Výstupní napětí	třífázové, proměnné od nuly do vstupního napětí
- Výstupní kmitočet	(0 – 300) Hz
- Jmenovitý výstupní proud	113 A
- Doba zatížení	trvalá
- Pracovní teploty	(0 ÷ +40) °C
- Proudová přetížitelnost	150 % zákl. zatěž. proudu po dobu 60 s v 300 s cyklu

5.2.10 Regulační jednotka

Regulační jednotka umožňuje zpětnovazební řízení momentu a otáček asynchronního dynamometru. Nastavení požadované hodnoty otáček nebo momentu se provádí při měření buď ručně z ovládacího panelu nebo automaticky zadáním požadované hodnoty do definované zkoušky v řídicím PC.

5.2.11 Snímač kmitání

Pro měření velikosti kmitání je použita sestava s jedním přemístitelným snímačem na obvodu měřeného stroje. Měření se provádí na předem definovaných místech elektromotoru. Vyhodnocovací jednotka měří efektivní rychlost kmitání v rozsahu do 10 mm/s.

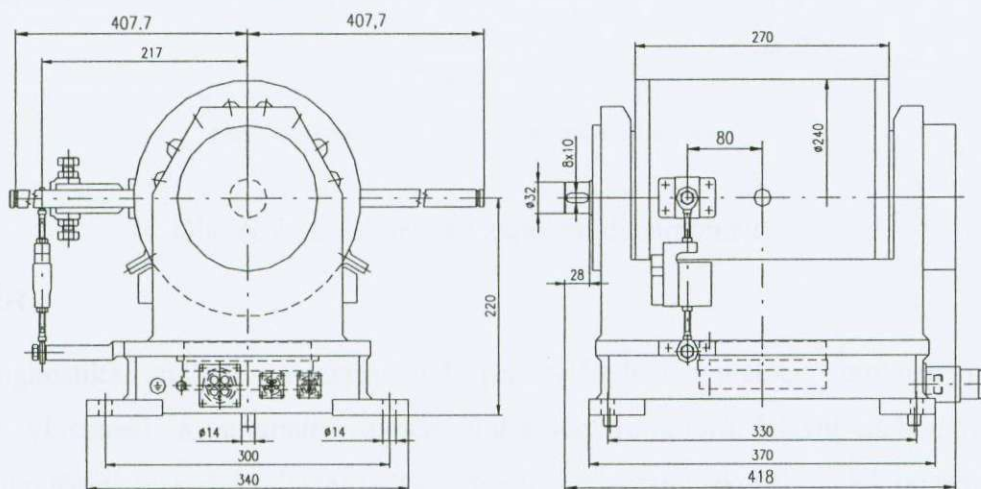
Sestavení:

Piezoelektrický snímač s magnetickou podložkou KS 80

Napájení konstantním proudem (2 až 20) mA

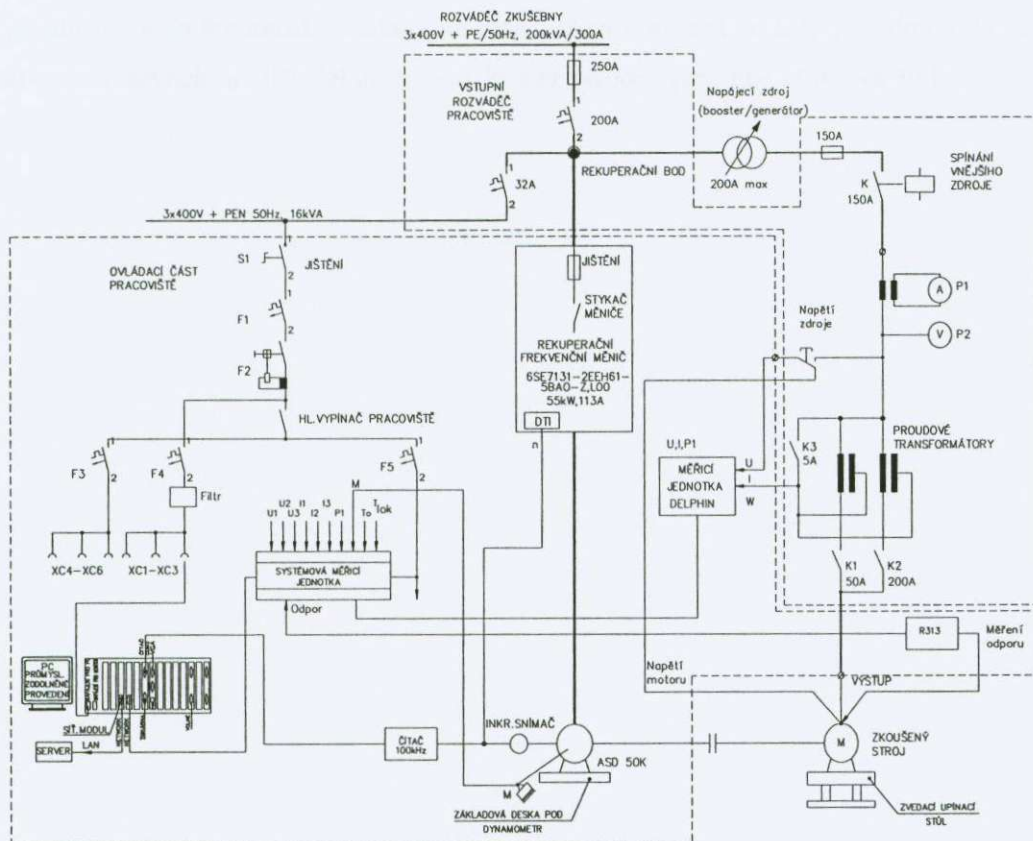
Vyhodnocení měření pro efektivní rychlost je dle ČSN EN 350091

Konstrukce a schéma zapojení je na obrázcích č. 6 a č. 7.



ASYNCHRONNÍ DYNAMOMETR ASD 5K-4

Obr. 6 - Konstrukční výkres dynamometru



BLOKOVÉ SCHEMA ZKOUŠ.PRAC. PRO ZKOUŠKY ASYNCHRONNÍCH MOTORŮ DO 1-50kW

Obr. č. 7 - Schématické zapojení dynamometru

6 ZÁVĚR

Diagnostika, měření na zkušebních pracovištích i v reálném provozu posuzuje konstrukci, vlastnosti a parametry asynchronních elektromotorů. Hlavní snahou je ukázat problematiku těchto elektrických strojů při možných ověřovacích zkouškách jak po případných opravách tak i při instalaci nových strojů uváděných do provozu.

Pro měření bylo vybráno 5 ks elektromotorů od výrobce Siemens Mohelnice typové řady 1LA7 o různých parametrech. Měření bylo provedeno nejprve na zkušebním pracovišti a po montáži do provozu byly elektromotory odměřeny v zkušebním provozu s hnaným zařízením. Všechna kontrolní měření se porovnávala s údaji v katalogu. Tyto naměřené hodnoty splňují požadovaná kritéria katalogových hodnot jak na zkušebním pracovišti, tak provozu i s dovolenou chybou měření.

Je důležité podotknout, že zodpovědným přístupem k technickému zařízení se prodlužuje jeho životnost. Náklady na diagnostiku a měření se tedy promítnou do samotné životnosti asynchronních elektromotorů, kterou výrobce garantuje až na cca 30 let.

Použitá literatura

- [1] www.converter.cz
- [2] Měnička, J., Zoubek, Z.: Elektrické stroje, Praha, ČVUT, 1992
- [3] Pokorný, K.: Technologie výroby elektrických strojů, Praha, SNTL, 1985
- [4] Katalog, Nízkonapětové elektromotory firmy Siemens, K 02-0404 CZ
- [5] Technika elektrických strojů, Ing. Jaroslav Skotálek, Brno, č.621.313.333.017.6
- [6] Heller, B., Hamata, V.: Přídavná pole, síly a ztráty v asynchronním stroji, Praha, ČSAV, 1961
- [7] Návod na obsluhu a údržbu dynamometru, VÚES Brno, 2002

7 PŘÍLOHY

Vzorový protokol zkušebního elektromotoru 1LA7 166-4AA – příloha č. 1

Fotografie poškozeného elektromotoru – příloha č.2

PROTOKOL O PRŮBĚ ZKOUŠKY PŮVABNÍHO MOTORU

1. Účel zkoušky

Typ motoru	1LA7163-6AA	Typ motoru	1LA7163-6AA	Typ motoru	1LA7163-6AA
Učinnost	88,2 %	Učinnost	88,2 %	Učinnost	88,2 %
Učinnost	88,2 %	Učinnost	88,2 %	Učinnost	88,2 %
Učinnost	88,2 %	Učinnost	88,2 %	Učinnost	88,2 %
Učinnost	88,2 %	Učinnost	88,2 %	Učinnost	88,2 %

PROTOKOL O ZKOUŠCE

č. 1

Asynchronní motor 1LA7163-6AA

Učinnost (%)	Učinnost (%)	Učinnost (%)	Učinnost (%)	Učinnost (%)	Učinnost (%)	Učinnost (%)	Učinnost (%)	Učinnost (%)
88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2
88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2
88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2
88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2
88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2

Datum : 10.1.2006

Určeno pro :

PROTOKOL O TYPOVÉ ZKOUŠCE ASYNCHRONNÍHO MOTORU

Test No. Probe Nr.: 1

Typ... Type: 1LA7163-6AA	Serial-No.: 0110536	Spec.: 1	
7.5 kW	380.0 V;D	17.0 A	960/min
	$\cos \varphi$: 0.880		50.0 Hz
S1	IP54	F	40.0 °C
			TP: 735-01
			IMB3
			105.0 kg

Základní mechanické zkoušky : **Kontrolní test po kontrole elektromotoru**

Odpor vinutí-studený

Svorky		U - V	V - W	W - U	R ₁₂₀	R _{isol} (MΩ)>	
θ (° C)	23.8	R (Ω):	0.94521	0.94246	0.94396	1.39492	5000
							U _{test} (V) 500

M _N (Nm)	74.6	MĚŘENÍ PŘI ZATÍŽENÍ						1.MĚŘENO při Un, Mn	
		1.	2.	3.	4.	5.	6.		
U _N (V)	380.0							2.PŘEPOČET na Pn	
U (V)		380.4	380.0	380.0	380.0		380.0		
P _{in} (W)		9076	8854	8837	8948				
P (W)		7686	7500	7500	7500		7500		
I (A)		17.54	17.12	17.17	17.42		17.00		
f (Hz)		50.01	50.00				50.00		
Otáčky (min ⁻¹)		969.1	969.7	970.6	969.9		960.0		
M (Nm)			73.87	73.80	73.90		74.60		
η (%)		84.69	84.71	84.87	83.82		85.80		
cos φ (-)		0.785		0.782	0.781		0.880		
M _{ST} /M _N *M _A /M _N (-)			2,06	2,06			2.30	3.PŘEPOČET na Tref podle EN 60034-2	
I _{ST} /I _N *I _A /I _N (-)			6,14	6,12			6.10		
M _{MAX} /M _N *M _K /M _N (-)			0,01	152,10			2.50		
M _{MIN} /M _N (-)							2.00		
Skluz (%)		3.109	3.034	3.006	3.073		4.000		4.IEC 61972
Vinutí Δθ (K)	t=0s	70.1	70.1	EN60034-2 Tref=95°C					
Kostra Δθ (K)		30.9	30.9						
θ _a (°C)		31.6	31.6						
Doba (min)		152							
Odpor vinutí-teplý (Ω)	U - V	1.23139	1.23139						
	V - W	1.22557	1.22557						
	W - U	1.22604	1.22604						
R _{isol} > (MΩ)		50							

MĚŘENÍ NAPRAZDNO				MĚŘENÍ NAKRÁTKO				
Napětí (V)	Proud (A)	Příkon (W)	Účinek (-)	Napětí (V)	Proud (A)	Příkon (W)	Účinek (-)	Moment (Nm)
380,0;D	8,97	652	0,110	380,0;D	105,04	39902	0,577	152 070

ZÁVITOVÁ ZKOUŠKA	ZKOUŠKA MECH. ODOLNOSTI	ZKOUŠKA VÝDRŽNÝM NAPĚTÍM
130% U _N - 3 min.	120% n _{MAX} - 2 min.	1760 V - 1 min.
ZKOUŠKY VYHOVUJÍ EN 60034-2		
Nehodnocen : Mmin/Mn		

Poznámka

Quality Assurance ... Qualitätssicherung

Datum **10.1.2006**

Podpis: **Vůjta Josef**

Typ: **1LA7163-6AA**
7,5 kW **380,0 V;D**

Spec.:
17,0 A

TNo : **1**
960/min

50,0 Hz

M _N (Nm) U _N (V)		MĚŘENÍ PŘI ZATÍŽENÍ			
		7.	8.	9.	10.
U	(V)				
P _{in}	(W)				
P	(W)				
I	(A)				
f	(Hz)				
Otáčky	(min ⁻¹)				
M	(Nm)				
η	(%)				
cos φ	(-)				
M _{ST} /M _N *M _A /M _N	(-)				
I _{ST} /I _N *I _A /I _N	(-)				
M _{MAX} /M _N *M _K /M _N	(-)				
M _{MIN} /M _N	(-)				
Skluž	(%)				
Vinutí Δθ	(K)				
Kostra Δθ	(K)				
θ _a	(°C)				
Doba	(min)				
Odpor vinutí-teplý (Ω)	U-V U-W V-W				
R _{isol} >	(MΩ)				

Význam symbolů

R ... Svorkový odpor vinutí	Terminal resistance	Klemmenwiderstand
P ₂₀ ... Odpor vinutí při 20°C	Winding resistance at 20°C	Wicklungswiderstand bei 20°C
P _{in} ... El. Příkon	Power input	Leistungsaufnahme
ΔP _{Fe} ... Ztráty v železe	Core losses	Eisenverluste
ΔP _{J1} ... Ztráty I ² R statoru	I ² R losses-winding	Ständerverluste I ² R
P _δ ... Výkon ve vzduchové mezeře	Power across air gap	Luftspaltleistung
ΔP _{J2} ... Ztráty I ² R ve vinutí rotoru	I ² R losses-rotor	Läuferverluste I ² R
ΔP _m ... Mechanické a ventilační ztráty	Friction and windage loss	Reibungsverluste
ΔP _{ad} ... Přídavné ztráty	Stray-load loss	Zusatzverluste
P ... Výkon	Power output	Leistungsabgabe
M _N ... Jmenovitý moment	Rated torque	Nennmoment
U ... Napětí svorkové	Voltage.....	Spannung
I ... Proud	Line current	Strom
f ... Frekvence	Frequency	Frequenz
η ... Účinnost	Efficiency	Wirkungsgrad
cos φ ... Účinník	Power factor	Leistungsfaktor
M _{ST} /M _N * M _A /M _N ... Moment záběrový / jmenovitý	Starting torque / Rated torque	Anzugsmoment / Nennmoment
I _{ST} /I _N * I _A /I _N ... Proud záběrový / jmenovitý	Starting current / Rated current	Anzugsstrom / Nennstrom
M _{MAX} /M _N * M _K /M _N ... Moment maximální / jmenovitý	Breakdown torque / Rated torque ..	Kippmoment / Nennmoment
M _{MIN} /M _N ... Moment minimální / jmenovitý	Minimal torque / Rated torque	Minimalmoment / Nennmoment
θ _a ... Teplota okolí	Ambient temperature	Raumtemperatur

PŘÍLOHY

LIST

- 5 Měření naprázdno
- 6 Měření nakrátko
- 11 Oteplovací zkoušky
- 12 Průběhy teplot
- 13 Momentová char.
- 15 Moment zvratu

LIST

- Zatížení - Metoda
- 7 EN 60034-2
- 9 IEC 61972

Datum

10.1.2006

Typ: **1LA7163-6AA**
7,5 kW **380,0 V;D**

Spec.:
17,0 A

TNo : 1
960/min

50,0 Hz

Hodnota	ZTRÁTY PŘI ZATÍŽENÍ - dle listu 1					ZTRÁTY PŘI ZATÍŽENÍ - dle listu 2				
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.7	No.8	No.9	No.10	
P_{in} (W)	9076	8854	8837	8948						
ΔP_{Fe} (W)	430,5	430,3	428,2	428,2						
ΔP_{j1} (W)	566,8	539,6	532,0	558,6						
P_{δ} (W)	8079	7884	7876	7940						
ΔP_{j2} (W)	251,2	245,1	236,8	244,0						
ΔP_m (W)	95,7	95,7	95,7	95,7						
ΔP_{ad} (W)	45,4	43,2	44,2	121,5						
$\Sigma \Delta P$ (W)	1390	1354	1337	1448						
P (W)	7686	7500	7500	7500						
No.1	MĚŘENO při Un, Mn									
No.2	PŘEPOČET na Pn									
No.3	PŘEPOČET na Tref podle EN 60034-2									
No.4	MĚŘENO podle IEC 61972									
Moment setrvačnosti :	J (kgm²)	Měřený			Zaručený					
Naměřená hladina akustického výkonu dB(A) :	Naprázdno				Zatížení					
	Přípustná				Přípustná					
Kmitání - max. hodnota efektivní rychlosti :	v (mm/s)				Přípustná 2,50					
Proudové přetížení :	1,5 I_N - 2 min.	25,75 A			Chlazení :	Q (m³/min)				
Momentové přetížení :	1,6 M_N - 15 sec.	118,09 Nm			Hmotnost :	m (kg)				
Zkouška nakrátko	U (V)		I_N (A)		P₁ (W)					
	101,9		17,00		1147,0					
Poměrný ráz	S₁ (-)									
	9,2									
Polohová změna	U (V)		M (Nm)							
Zkouška krytí	IP55									
Reverzace motoru naprázdno :	Počet / hod			Oteplení vinutí			K			
PTC Termistory	Jmenovitá teplota		°C		Teplota vinutí při vypnutí		°C			
Provedení										
Datum	10.1.2006									

Typ : 1LA7163-6AA
7,5 kW

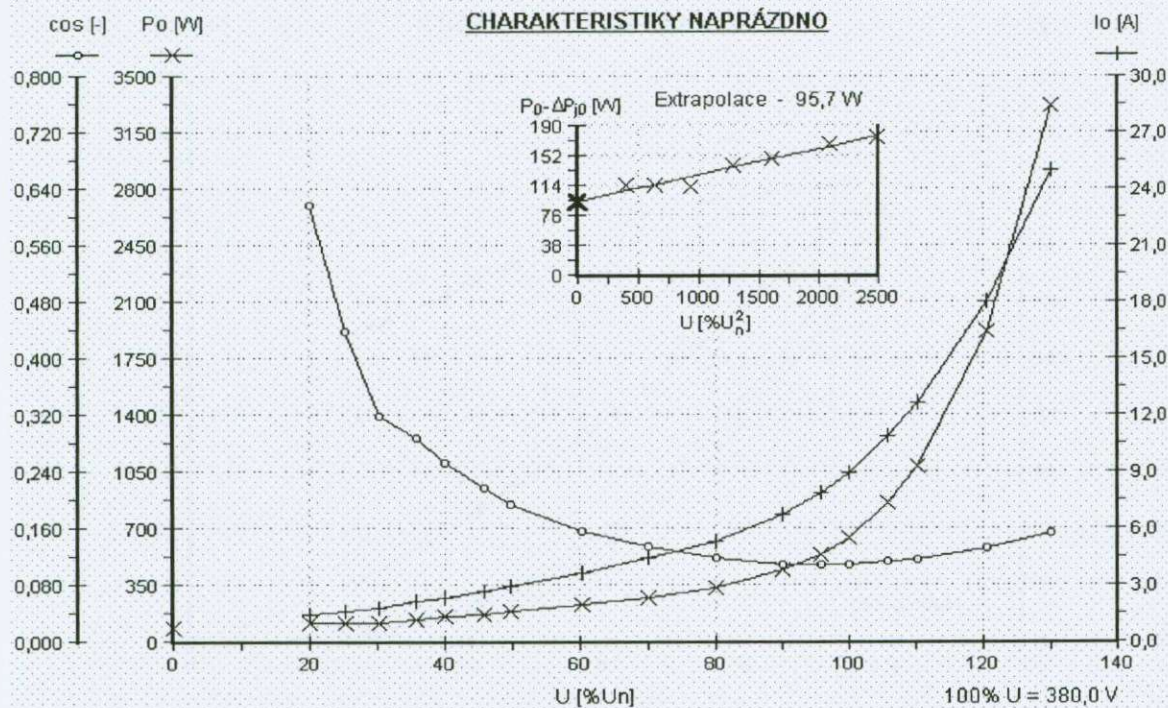
380,0 V;D

SNo : 0110536
17,0 A

TNo : 1
960/min

50,0 Hz

74,6 Nm

**NAMĚŘENÉ HODNOTY**

U_0 [%]	U_0 [V]	I_0 [A]	P_0 [W]	f [Hz]	ΔP_j [W]	ΔP_{Fe} [W]	ΔP_m [W]	$\cos \varphi$ [-]	R [Ω]
130,0	494,0	25,04	3320	49,99	991,8	2232,5	95,7	0,155	1,05450
120,4	457,6	18,08	1920	50,00	517,3	1307,0	95,7	0,134	1,05499
110,3	419,2	12,71	1096	49,99	255,7	744,6	95,7	0,119	1,05549
105,9	402,4	10,91	868	49,99	188,5	583,8	95,7	0,114	1,05598
100,1	380,2	8,98	652	49,98	127,9	428,4	95,7	0,110	1,05648
95,9	364,3	7,92	548	49,98	99,3	352,9	95,7	0,110	1,05697
90,1	342,2	6,77	448	49,99	72,7	279,5	95,7	0,112	1,05747
79,9	303,7	5,42	344	49,99	46,7	201,6	95,7	0,121	1,05796
70,0	266,1	4,48	280	49,99	31,9	152,4	95,7	0,136	1,05846
60,3	229,0	3,72	232	49,99	21,9	114,4	95,7	0,157	1,05895
49,9	189,5	3,01	192	49,99	14,4	81,9	95,7	0,194	1,05945
45,7	173,8	2,74	180	49,99	12,0	72,3	95,7	0,218	1,05994
40,0	152,1	2,40	160	49,99	9,2	55,1	95,7	0,253	1,06044
35,8	136,2	2,17	148	49,99	7,5	44,8	95,7	0,289	1,06094
30,3	115,3	1,88	120	49,99	5,6	18,7	95,7	0,320	1,06143
25,2	95,9	1,64	120	49,99	4,3	20,0	95,7	0,441	1,06193
19,9	75,6	1,48	120	49,98	3,5	20,8	95,7	0,619	1,06242

INTERPOLACE

80,0	304,0	5,43	345	49,99	46,8	202,3	95,7	0,121	1,05796
90,0	342,0	6,76	448	49,99	72,6	279,4	95,7	0,112	1,05747
100,0	380,0	8,97	652	49,98	127,6	428,2	95,7	0,110	1,05653
110,0	418,0	12,57	1077	49,99	250,1	731,5	95,7	0,118	1,05555
120,0	456,0	17,82	1875	50,00	502,5	1276,7	95,7	0,133	1,05500

Datum : 10.1.2006

Čas :

Měřil : Vůjta Josef

Typ : 1LA7163-6AA
7,5 kW

380,0 V;D

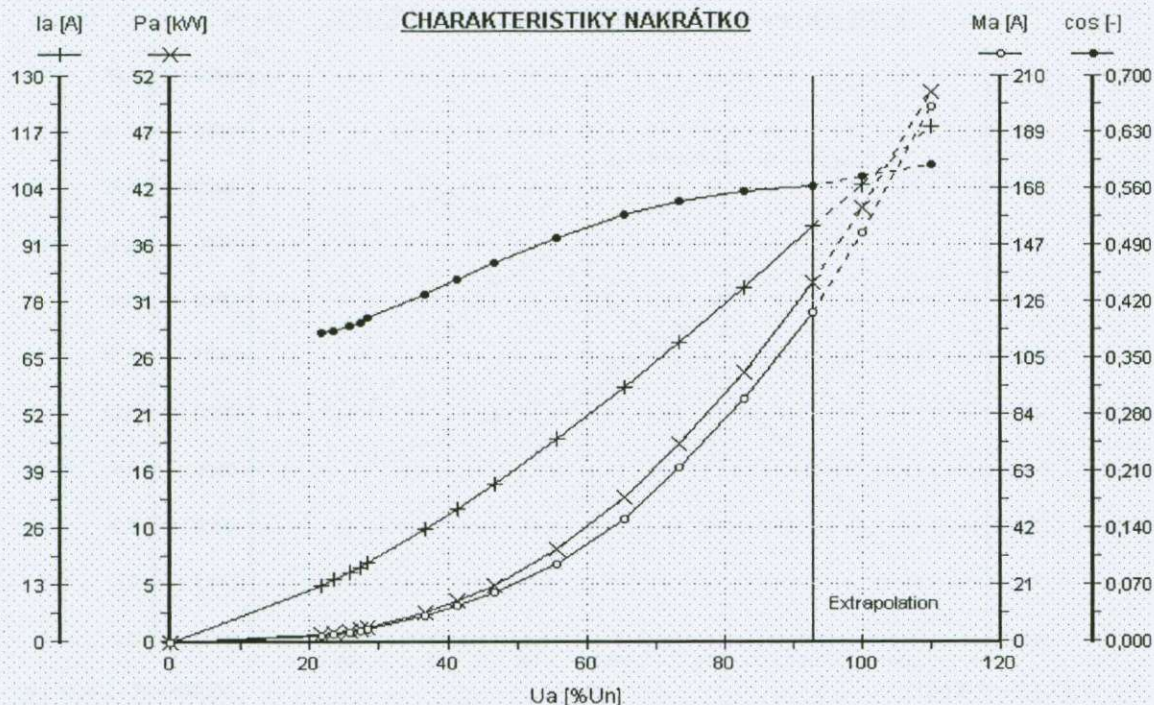
SNo : 0110536
17,0 A

960/min

TNo : 1

50,0 Hz

74,6 Nm

**NAMĚŘENÉ HODNOTY**

Ua [%]	Ua [V]	Ia [A]	Pa [W]	Ma [Nm]	cos φ [-]	R [Ω]	Δ θ [K]	θ _{AS} [°C]	θ _{BS} [°C]
21,7	82,5	13,11	716	2,24	0,382	0,96730	5,29	---	---
23,7	90,0	14,52	872	2,83	0,385	0,97323	6,92	---	---
25,8	98,1	16,14	1072	3,58	0,391	0,97916	8,55	---	---
27,3	103,8	17,33	1232	4,22	0,395	0,98509	10,18	---	---
28,5	108,4	18,28	1376	4,80	0,401	0,99102	11,81	---	---
36,8	139,8	25,92	2704	9,68	0,431	0,99695	13,44	---	---
41,4	157,3	30,72	3760	13,50	0,449	1,00288	15,06	---	---
46,6	177,1	36,40	5240	18,40	0,469	1,00881	16,71	---	---
55,6	211,1	46,72	8560	28,79	0,501	1,01474	18,34	---	---
65,3	248,2	58,52	13320	45,61	0,529	1,02067	19,98	---	---
73,4	279,1	68,88	18200	64,88	0,547	1,02660	21,58	---	---
82,8	314,8	81,52	24840	90,33	0,559	1,03253	23,25	---	---
92,8	352,7	95,64	33000	122,32	0,565	1,03846	24,89	---	---

90,0	342,0	91,53	30603	113,2	0,564	EXTRAPOLACE
100,0	380,0	105,04	39902	152,1	0,577	
110,0	418,0	118,55	50629	198,6	0,590	

Záběrný moment při různém natočení rotoru

Nm
V

- Δ θ Oteplení vinutí
θ_{AS} Teplota zadní strany čela vinutí
θ_{BS} Teplota přední strany čela vinutí

Datum : 10.1.2006

Čas :

Měřil : Vůjta Josef

Typ : 1LA7163-6AA
7,5 kW

380,0 V;D

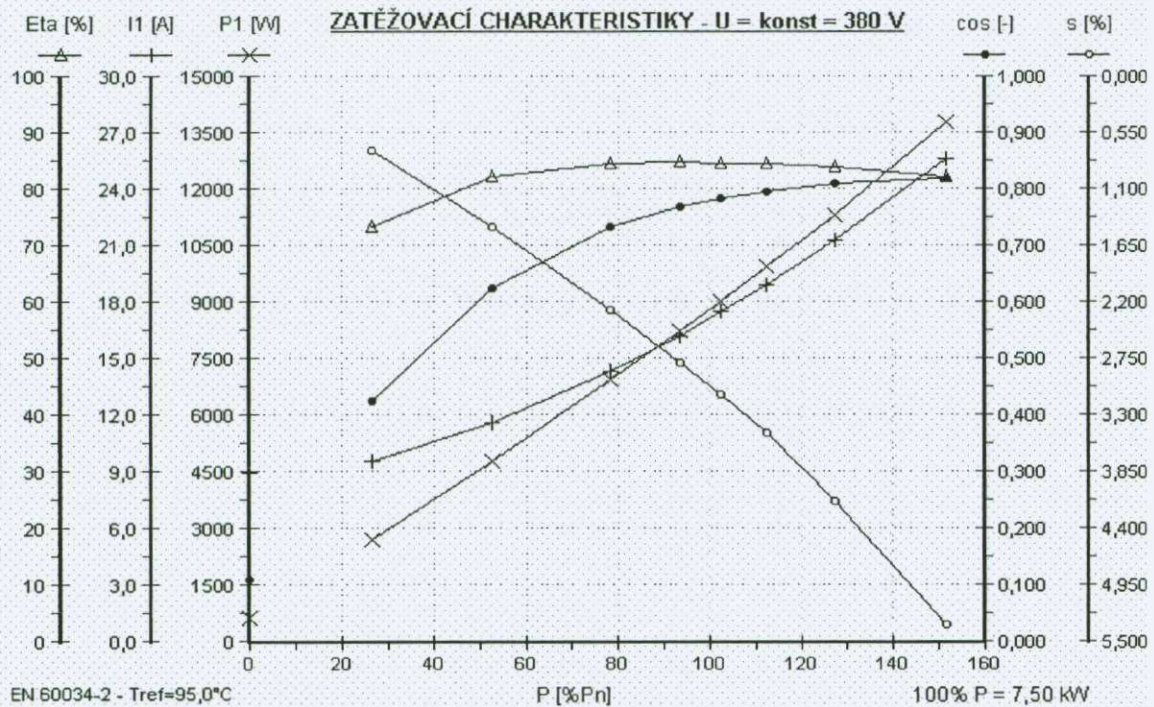
SNo : 0110536
17,0 A

TNo : 1
960/min

50,0 Hz

List : 7

74,6 Nm



NAMĚŘENÉ HODNOTY

U ₁ [%]	U _i [V]	P ₁ [W]	I ₁ [A]	P [%]	P [W]	n [1/min]	M [Nm]	f [Hz]	cos φ [-]	R _f [Ω]	T _f [°C]	T ₀ [°C]
100,5	382,0	2720	9,64	25,9	1943,2	993,2	18,69	50,020	0,426	1,20346	52,4	31,6
100,5	381,8	4808	11,61	51,5	3861,3	986,0	37,40	50,030	0,626	1,20346	52,4	31,6
100,3	381,2	6968	14,37	76,6	5745,8	978,2	56,10	50,040	0,735	1,20346	52,3	31,6
100,2	380,7	8260	16,27	91,3	6848,1	972,7	67,24	50,030	0,770	1,20346	52,4	31,6
100,1	380,2	9052	17,52	101,0	7576,1	969,8	74,61	50,040	0,785	1,20346	52,3	31,6
100,0	380,1	9960	18,96	110,5	8288,0	965,9	82,00	50,030	0,798	1,20346	52,4	31,6
99,8	379,4	11360	21,32	124,8	9363,4	959,3	93,23	50,030	0,811	1,20346	52,4	31,6
99,6	378,4	13800	25,68	147,8	11086,2	947,4	111,76	50,030	0,820	1,20346	52,4	31,6

ZPRACOVANÉ HODNOTY

U ₁ [V]	P ₁ [W]	I ₁ [A]	s [%]	cos φ [-]	M [Nm]	Δ P _{Fe} [W]	Δ P _m [W]	Δ P _{j1} [W]	Δ P _{j2} [W]	Δ P _d [W]	Σ Δ P [W]	P [%]	P [W]	η [%]
382,0	2720	9,64	0,720	0,426	19,23	428,2	95,7	167,9	15,3	13,6	720,7	26,7	1999,3	73,50
381,8	4808	11,61	1,459	0,626	38,32	428,2	95,7	243,2	60,4	24,0	851,6	52,8	3956,4	82,29
381,2	6968	14,37	2,258	0,735	57,58	428,2	95,7	372,7	139,3	34,8	1070,7	78,6	5897,3	84,63
380,7	8260	16,27	2,788	0,770	68,85	428,2	95,7	478,0	205,0	41,3	1248,2	93,5	7011,8	84,89
380,2	9052	17,52	3,098	0,785	75,63	428,2	95,7	553,9	250,0	45,3	1373,0	102,4	7679,0	84,83
380,1	9960	18,96	3,468	0,798	83,35	428,2	95,7	648,9	308,1	53,9	1530,7	112,4	8429,3	84,63
379,4	11360	21,32	4,128	0,811	95,00	428,2	95,7	820,5	417,3	68,2	1818,6	127,2	9541,4	83,99
378,4	13800	25,68	5,317	0,820	114,61	428,2	95,7	1190,5	647,7	98,9	2431,0	151,6	11369,0	82,38

INTERPOLACE

380,0	8837	17,17	3,006	0,782	73,80	428,2	95,7	532,0	236,8	44,2	1336,9	100,0	7500,0	84,87
-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	------	--------	-------	--------	-------

T_f Řídicí teplota

Datum : 10.1.2006

Čas :

Měřil : Vůjta Josef

Typ : 1LA7163-6AA
7,5 kW

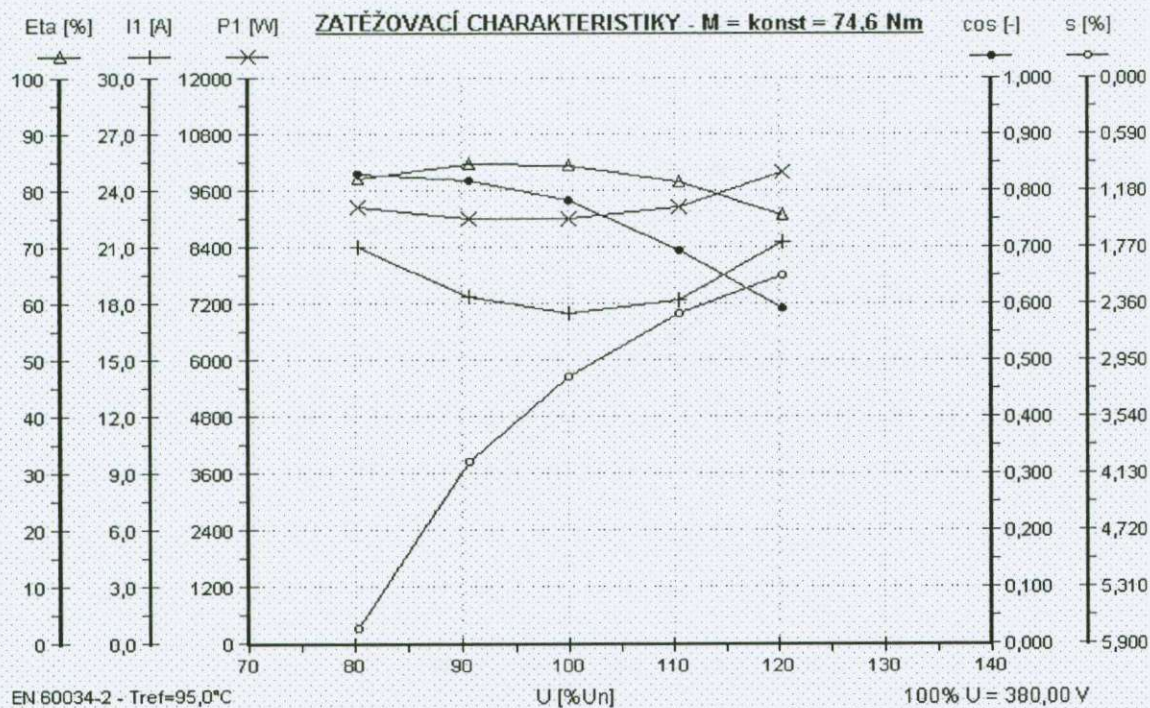
380,0 V;D

SNo : 0110536
17,0 A

TNo : 1
960/min

50,0 Hz

74,6 Nm



NAMĚŘENÉ HODNOTY

U ₁ [%]	U ₁ [V]	P ₁ [W]	I ₁ [A]	P [%]	P [W]	n [1/min]	M [Nm]	f [Hz]	cos φ [-]	R _f [Ω]	T _f [°C]	T ₀ [°C]
80,3	305,0	9280	21,12	98,5	7387,1	943,0	74,82	50,010	0,832	1,20346	52,5	31,4
90,7	344,5	9040	18,44	100,1	7503,9	960,3	74,63	50,010	0,822	1,20346	52,5	31,4
100,1	380,2	9052	17,52	101,0	7576,1	969,8	74,61	50,040	0,785	1,20346	52,3	31,4
110,5	420,0	9276	18,30	101,0	7571,3	976,0	74,09	50,020	0,697	1,20346	52,4	31,4
120,3	457,3	10040	21,36	102,1	7659,9	979,9	74,66	50,020	0,593	1,20346	52,4	31,4

ZPRACOVANÉ HODNOTY

U ₁ [V]	P ₁ [W]	I ₁ [A]	s [%]	cos φ [-]	M [Nm]	Δ P _{Fe} [W]	Δ P _m [W]	Δ P _{j1} [W]	Δ P _{j2} [W]	Δ P _d [W]	Σ Δ P [W]	P [%]	P [W]	η [%]
305,0	9280	21,12	5,719	0,832	77,54	204,5	95,7	805,2	473,0	64,8	1624,8	102,1	7655,2	82,49
344,5	9040	18,44	3,989	0,822	76,33	285,8	95,7	613,8	324,7	49,4	1365,3	102,3	7674,7	84,90
380,2	9052	17,52	3,098	0,785	75,62	429,3	95,7	553,9	249,9	44,5	1374,1	102,4	7677,9	84,82
420,0	9276	18,30	2,439	0,697	74,21	753,1	95,7	604,3	193,1	48,6	1692,6	101,1	7583,4	81,75
457,3	10040	21,36	2,049	0,593	74,14	1301,3	95,7	823,6	162,2	66,2	2433,1	101,4	7606,9	75,77

T_f Řídící teplota

Datum : 10.1.2006

Čas :

Měřil : Vůjta Josef

Typ : 1LA7163-6AA
7,5 kW

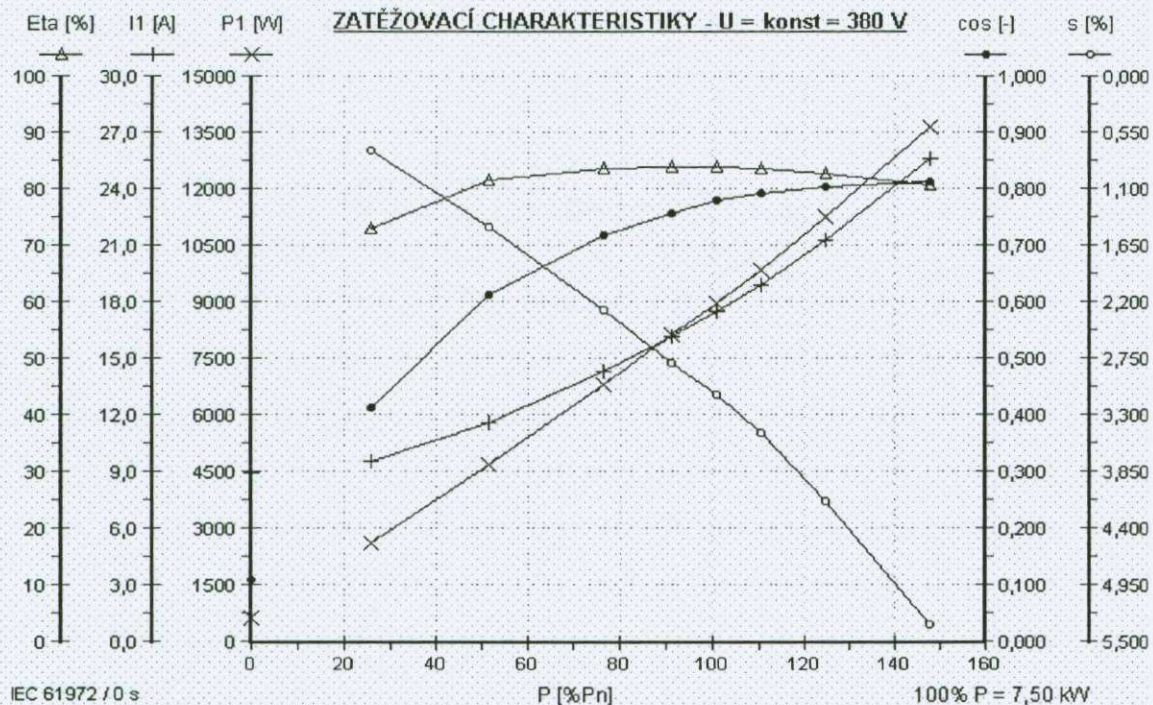
380,0 V;D

SNo : 0110536
17,0 A

TNo : 1
960/min

50,0 Hz

74,6 Nm



NAMĚŘENÉ HODNOTY

U ₁ [%]	U ₁ [V]	P ₁ [W]	I ₁ [A]	P [%]	P [W]	n [1/min]	M [Nm]	f [Hz]	cos φ [-]	R [Ω]	T _f [°C]	T ₀ [°C]
100,5	382,0	2720	9,64	25,9	1943,2	993,2	18,69	50,020	0,426	1,22767	52,4	31,6
100,5	381,8	4808	11,61	51,5	3861,3	986,0	37,40	50,030	0,626	1,22767	52,4	31,6
100,3	381,2	6968	14,37	76,6	5745,8	978,2	56,10	50,040	0,735	1,22767	52,3	31,6
100,2	380,7	8260	16,27	91,3	6848,1	972,7	67,24	50,030	0,770	1,22767	52,4	31,6
100,1	380,2	9052	17,52	101,0	7576,1	969,8	74,61	50,040	0,785	1,22767	52,3	31,6
100,0	380,1	9960	18,96	110,5	8288,0	965,9	82,00	50,030	0,798	1,22767	52,4	31,6
99,8	379,4	11360	21,32	124,8	9363,4	959,3	93,23	50,030	0,811	1,22767	52,4	31,6
99,6	378,4	13800	25,68	147,8	11086,2	947,4	111,76	50,030	0,820	1,22767	52,4	31,6

ZPRACOVANÉ HODNOTY

U ₁ [V]	P ₁ [W]	I ₁ [A]	s [%]	cos φ [-]	M [Nm]	Δ P _{Fe} [W]	Δ P _m [W]	Δ P _{j1} [W]	Δ P _{j2} [W]	Δ P _d [W]	Σ Δ P [W]	P [%]	P [W]	η [%]
382,0	2655	9,64	0,720	0,416	18,69	428,2	95,7	166,4	14,9	7,8	713,0	25,9	1942,4	73,15
381,8	4714	11,61	1,459	0,614	37,40	428,2	95,7	241,1	58,7	31,1	854,8	51,5	3859,0	81,87
381,2	6840	14,37	2,258	0,721	56,10	428,2	95,7	369,4	135,4	70,0	1098,7	76,5	5741,2	83,94
380,7	8142	16,27	2,788	0,759	67,24	428,2	95,7	473,8	199,4	100,6	1297,6	91,3	6844,0	84,06
380,2	9010	17,52	3,098	0,781	74,61	428,2	95,7	549,0	243,0	123,8	1439,8	100,9	7570,0	84,02
380,1	9904	18,96	3,468	0,793	82,00	428,2	95,7	643,2	299,5	149,6	1616,2	110,5	8287,6	83,68
379,4	11294	21,32	4,128	0,806	93,23	428,2	95,7	813,3	405,8	193,3	1936,4	124,8	9357,8	82,86
378,4	13691	25,68	5,317	0,813	111,76	428,2	95,7	1180,0	629,9	277,9	2611,6	147,7	11079,6	80,92

INTERPOLACE

380,0	8948	17,42	3,073	0,781	73,90	428,2	95,7	558,6	244,0	121,5	1448,0	100,0	7500,0	83,82
-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	--------	-------	--------	-------

T_f Řídící teplota

Korelační koeficient 0,9409

Datum : 10.1.2006

Čas :

Měřil : Vůjta Josef

Typ : 1LA7163-6AA

SNo : 0110536

TNo : 1

7,5 kW

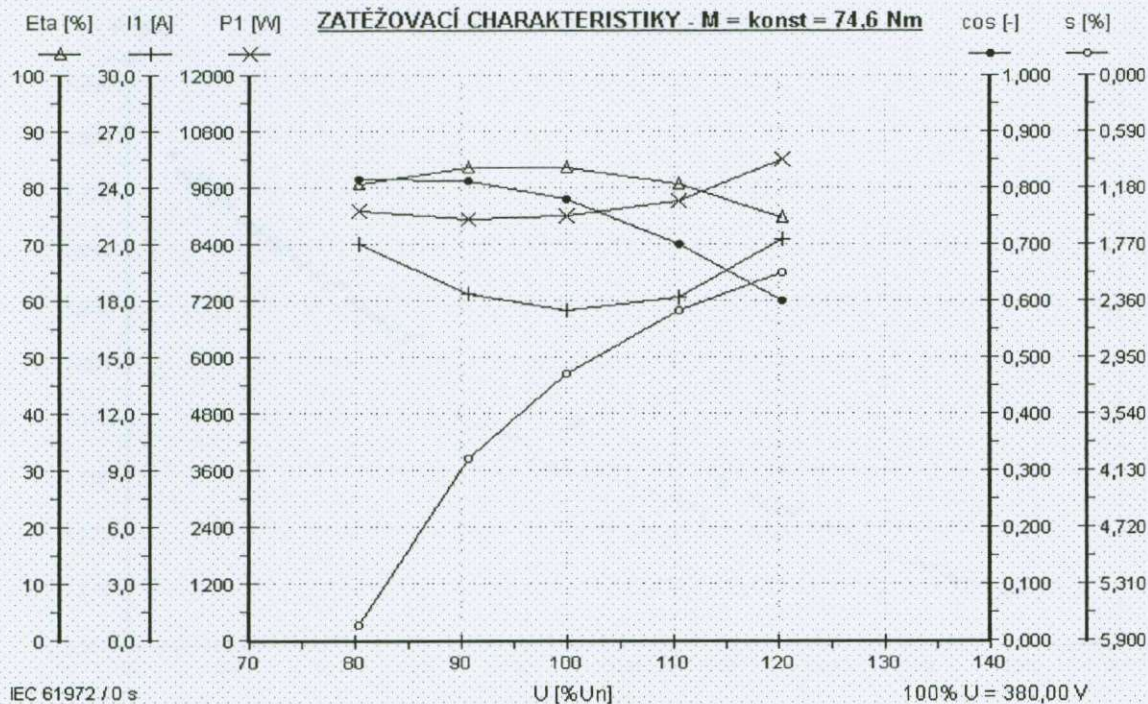
380,0 V;D

17,0 A

960/min

50,0 Hz

74,6 Nm



NAMĚŘENÉ HODNOTY

U ₁ [%]	U ₁ [V]	P ₁ [W]	I ₁ [A]	P [%]	P [W]	n [1/min]	M [Nm]	f [Hz]	cos φ [-]	R [Ω]	T _r [°C]	T ₀ [°C]
80,3	305,0	9280	21,12	98,5	7387,1	943,0	74,82	50,010	0,832	1,22767	52,5	31,4
90,7	344,5	9040	18,44	100,1	7503,9	960,3	74,63	50,010	0,822	1,22767	52,5	31,4
100,1	380,2	9052	17,52	101,0	7576,1	969,8	74,61	50,040	0,785	1,22767	52,3	31,4
110,5	420,0	9276	18,30	101,0	7571,3	976,0	74,09	50,020	0,697	1,22767	52,4	31,4
120,3	457,3	10040	21,36	102,1	7659,9	979,9	74,66	50,020	0,593	1,22767	52,4	31,4

ZPRACOVANÉ HODNOTY

U ₁ [V]	P ₁ [W]	I ₁ [A]	s [%]	cos φ [-]	M [Nm]	Δ P _{Fe} [W]	Δ P _m [W]	Δ P _{j1} [W]	Δ P _{j2} [W]	Δ P _d [W]	Σ Δ P [W]	P [%]	P [W]	η [%]
305,0	9136	21,12	5,719	0,819	74,82	204,5	95,7	798,1	460,0	181,9	1750,5	98,5	7385,6	80,84
344,5	8954	18,44	3,989	0,814	74,63	285,8	95,7	608,4	315,7	138,0	1451,5	100,0	7502,4	83,79
380,2	9019	17,52	3,098	0,782	74,61	429,3	95,7	549,0	243,0	124,4	1448,5	100,9	7570,0	83,94
420,0	9345	18,30	2,439	0,702	74,09	753,1	95,7	599,0	187,8	133,9	1777,1	100,9	7568,3	80,98
457,3	10224	21,36	2,049	0,604	74,66	1301,3	95,7	816,4	157,7	185,3	2566,9	102,1	7656,9	74,89

T_r Řídící teplota

Datum : 10.1.2006

Čas :

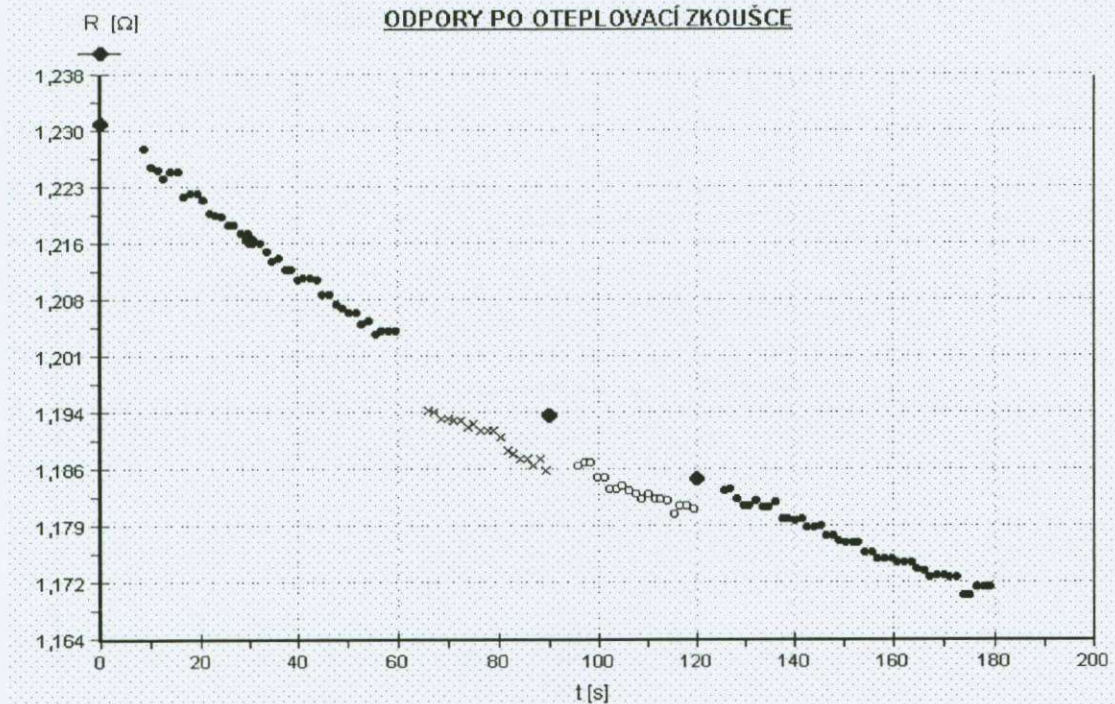
Měřil : Vůjta Josef

Typ : 1LA7163-6AA
7,5 kW 380,0 V;D

SNo : 0110536
17,0 A

TNo : 1
960/min 50,0 Hz

74,6 Nm



NAMĚŘENÉ HODNOTY ODPORŮ

Čas	[s]	0	30	90	120
Teplota okolí	[°C]	31,56	31,56	31,56	31,56
U - V	R	1,23139	1,21631	1,19339	1,18522
	θ	70,62	66,49	60,22	57,98
V - W	R	1,22557	1,21050	1,18758	1,17940
	θ	70,01	65,87	59,57	57,33
W - U	R	1,22604	1,21097	1,18805	1,17988
	θ	69,60	65,47	59,19	56,94
Střední	R	1,22767	1,21259	1,18968	1,18150
	θ	70,08	65,94	59,66	57,42

NAMĚŘENÉ PARAMETRY OTEPLOVACÍ ZKOUŠKY PŘI

U = 380,0 V

M = 74,6 Nm

t	U	P_1	I	P	P	*M	n	f	cos φ	s
[min]	[V]	[W]	[A]	[%]	[W]	[Nm]	[1/min]	[Hz]	[-]	[%]
152,2	380,4	9076	17,54	102,5	7686	74,61	969,1	50,01	0,785	3,109

ROZDĚLENÍ ZTRÁT

R_f	ΔP_m	ΔP_{Fe}	ΔP_{j1}	ΔP_{j2}	ΔP_d	$\Sigma \Delta P$	η
[Ω]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[%]
1,84150	95,7	430,5	566,8	251,2	45,4	1389,6	84,69

*M Měřený moment

Datum : 10.1.2006

Čas :

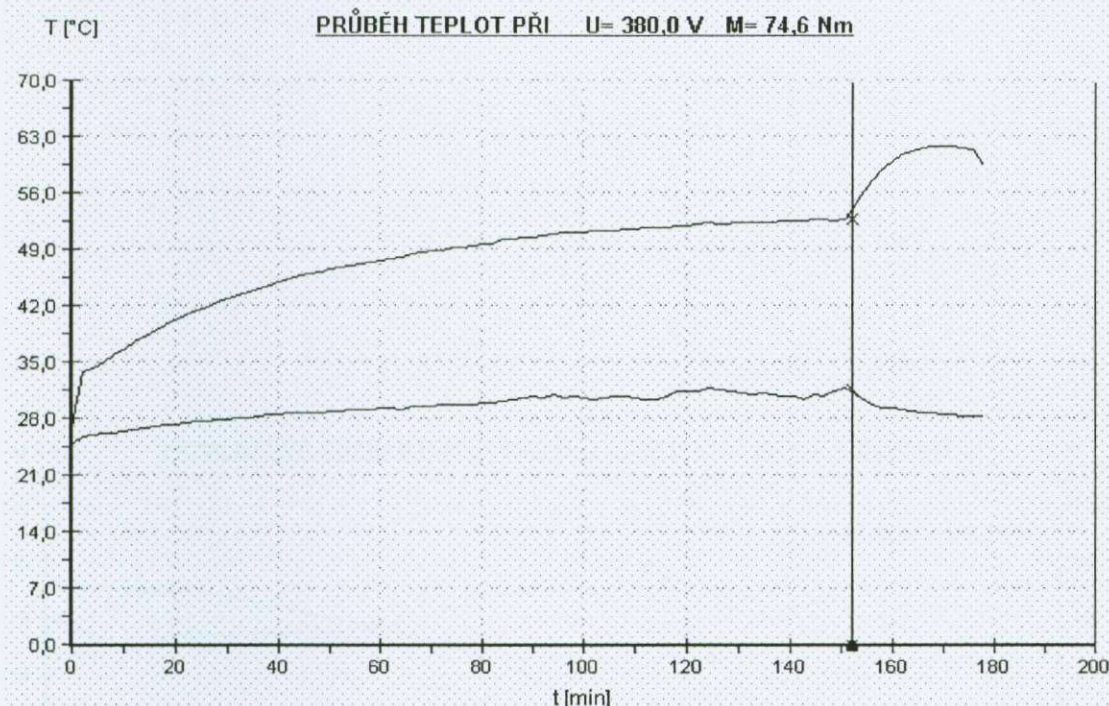
Měřil : Vůjta Josef

Typ : 1LA7163-6AA
7,5 kW 380,0 V;D

SNo : 0110536
17,0 A

TNo : 1
960/min 50,0 Hz

74,6 Nm



NAMĚŘENÉ HODNOTY TEPLŮT - ustálený stav

Číslo	Místo	Označení	Teplota [°C]	Oteplení [K]
1	Kostra - max.	— x	53,0	24,5
2	Neurčeno	— +	0,0	---
3	Neurčeno	— o	0,0	---
4	Neurčeno	— •	0,0	---
5	Neurčeno	— Δ	0,0	---
6	Neurčeno	— x	0,0	---

TEPLOTA OKOLÍ

—
\
28,5

PŘÍPOJNÝ KABEL

[mm²]

Oteplovací časová konstanta (63.2% | 85%)

Datum : 10.1.2006

Čas :

Měřil : Vůjta Josef

Typ : 1LA7163-6AA
7,5 kW 380,0 V;D

SNo : 0110536
17,0 A

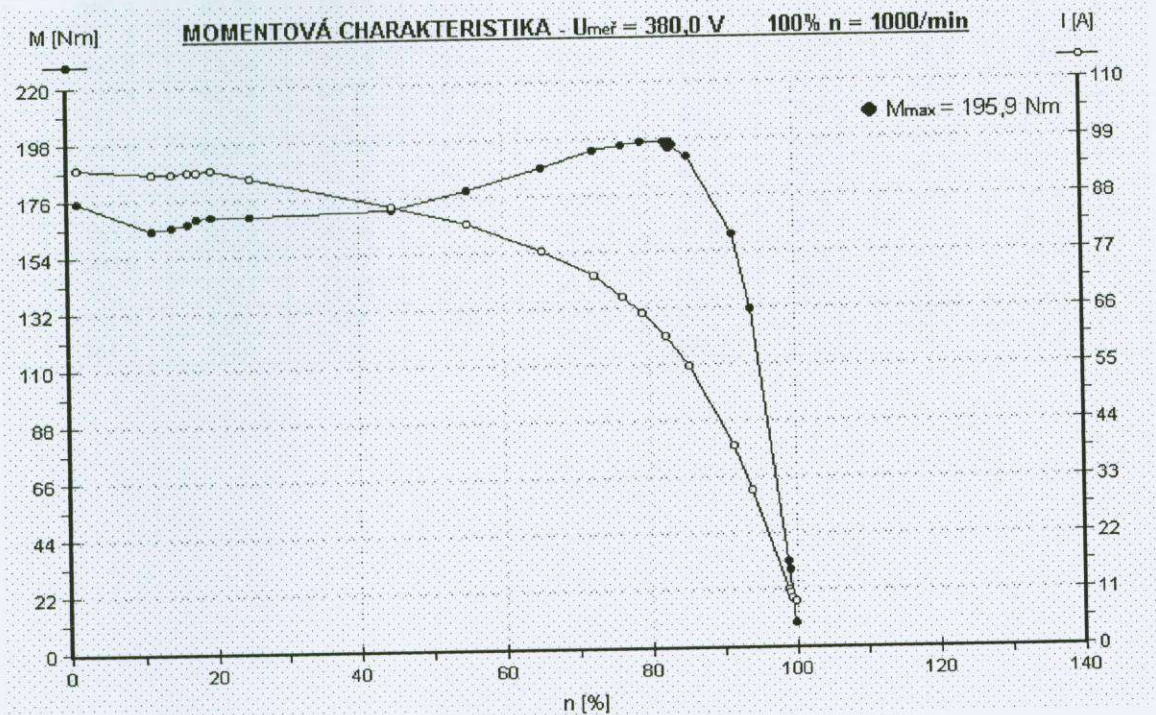
960/min

TNo : 1
50,0 Hz

74,6 Nm

TECHNICKÉ HODNOTY - $T_{meř} = 380,0 V$
 $T_{meř} = 50,0 Hz$

n [%]	M [Nm]	I [A]	η [%]	$P_{meř}$ [kW]
0	176	110	0	0
10	160	77	0	0
15	162	78	0	0
20	164	79	0	0
25	165	80	0	0
30	166	81	0	0
40	167	82	0	0
50	168	83	0	0
60	169	84	0	0
70	170	85	0	0
80	171	86	0	0
85	172	87	0	0
90	173	88	0	0
95	174	89	0	0
100	175	90	0	0



Datum : 10.1.2006

Čas :

Měřil : Vůjta Josef

Typ : 1LA7163-6AA
7,5 kW 380,0 V;D

SNo : 0110536
17,0 A

TNo : 1
960/min 50,0 Hz

74,6 Nm

NAMĚŘENÉ HODNOTY -

 $U_{m\acute{e}r} = 380,0 \text{ V}$ $T_{f\text{min}} = 30,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{f\text{max}} = 60,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{ok} = 31,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$

U	U	$I_{m\acute{e}r}$	$I_{p\acute{r}ep}$	$M_{m\acute{e}r}$	$M_{p\acute{r}ep}$	n	n	T_f	T_{ok}	Poznámka
[%]	[V]	[A]	[A]	[Nm]	[Nm]	[%]	[1/min]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	
100,2	380,9	94,52	94,30	175,96	175,13	1,2	11,6	51,5	29,0	
100,3	381,0	93,56	93,31	164,95	164,08	11,8	113,4	50,8	29,1	
100,3	381,0	93,60	93,35	166,59	165,72	14,4	138,6	50,2	29,1	
100,3	381,0	93,76	93,51	167,39	166,51	16,8	161,0	49,8	29,2	
100,2	380,8	93,84	93,64	169,24	168,53	18,0	173,0	49,2	29,2	
100,2	380,8	94,04	93,84	169,98	169,27	20,1	193,4	48,1	29,3	
100,2	380,8	92,40	92,21	170,22	169,50	25,7	246,5	46,9	29,4	
100,1	380,4	86,84	86,75	172,24	171,88	46,4	445,7	44,5	29,7	
100,1	380,3	83,20	83,13	179,02	178,74	57,5	552,1	43,9	30,0	
100,3	381,2	77,80	77,56	187,51	186,33	68,0	653,2	43,5	30,1	
100,2	380,6	72,64	72,53	194,44	193,82	75,6	725,3	43,3	30,6	
100,1	380,4	68,44	68,37	195,74	195,33	79,6	764,2	43,0	31,0	
100,3	381,1	65,40	65,21	197,27	196,13	82,3	789,8	43,0	31,1	
100,5	381,8	60,84	60,55	197,31	195,46	85,6	821,6	43,0	31,1	
100,3	381,1	55,04	54,88	191,84	190,74	88,8	852,9	43,3	31,2	
100,3	381,0	39,56	39,46	160,98	160,14	95,3	914,7	43,8	31,4	
100,1	380,4	30,72	30,69	131,93	131,65	97,9	939,9	43,4	31,4	
100,2	380,6	11,19	11,17	33,64	33,53	102,9	988,3	44,2	31,4	
100,2	380,7	10,81	10,79	30,29	30,18	103,1	989,6	44,4	31,4	
100,3	381,0	9,82	9,79	19,53	19,43	103,4	993,1	44,5	31,3	
100,3	381,3	9,22	9,18	9,67	9,61	103,8	996,6	44,7	31,4	

*U Mimo toleranci napětí

*T Mimo rozsah řídicí teploty

Datum : 10.1.2006

Čas :

Měřil : Vůjta Josef

Typ : 1LA7163-6AA
7,5 kW

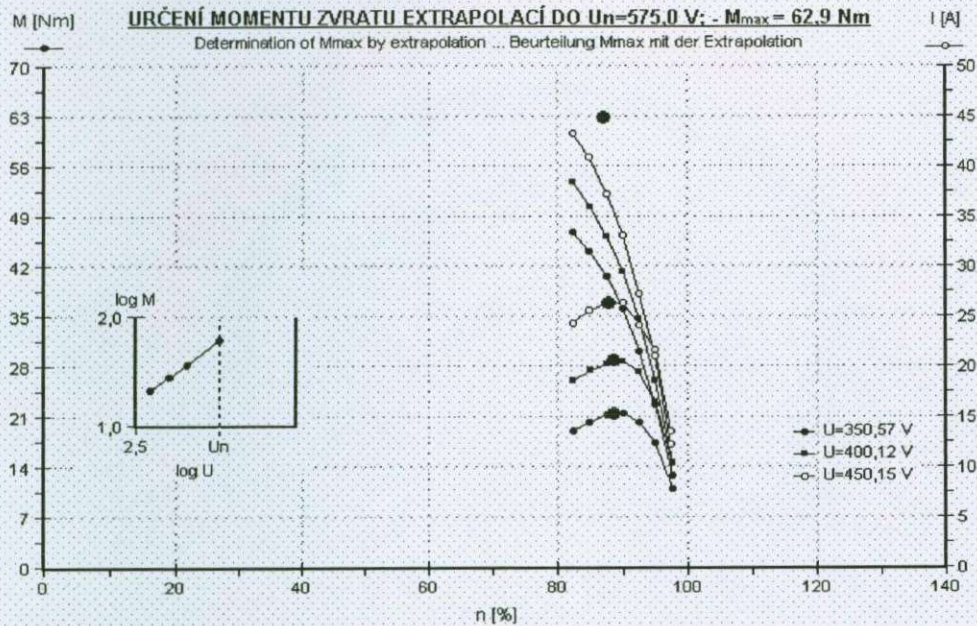
380,0 V;D

SNo : 0110536
17,0 A

960/min

TNo : 1
50,0 Hz

74,6 Nm

**NAMĚŘENÉ HODNOTY**

Measured values - Meßwerte

U [%]	U [V]	n [%]	M [Nm]	I [A]
60,9	350,4	82,43	19,25	33,61
60,9	350,4	84,97	20,47	31,69
61,0	350,5	87,46	21,36	29,16
61,0	350,6	90,00	21,53	25,91
61,0	350,6	92,47	20,30	21,59
61,0	350,8	94,92	17,46	16,33
61,0	350,8	97,45	11,02	9,33
69,6	399,9	82,42	26,08	38,57
69,5	399,9	85,11	27,52	36,05
69,6	400,0	87,53	28,35	33,16
69,6	400,0	89,99	28,78	29,57
69,6	400,3	92,47	27,32	24,79
69,6	400,4	94,93	23,28	18,66
69,6	400,4	97,47	14,63	10,57
78,3	450,1	82,49	34,23	43,41
78,3	450,2	84,99	36,00	41,04
78,3	450,2	87,49	36,84	37,32
78,3	450,4	89,97	37,00	33,26
78,3	450,0	92,49	33,96	27,34
78,3	450,0	94,93	30,41	21,25
78,3	450,2	97,36	19,21	12,35

PŘEPOČTENÉ HODNOTY

Corrected values - Ungerechnete Werte

M [Nm]	I [A]
19,23	33,59
20,45	31,67
21,35	29,15
21,53	25,91
20,29	21,59
17,48	16,34
11,03	9,33
26,06	38,56
27,49	36,03
28,33	33,14
28,77	29,56
27,34	24,80
23,31	18,68
14,65	10,58
34,21	43,40
36,01	41,04
36,85	37,32
37,04	33,27
33,94	27,33
30,39	21,24
19,22	12,35

ZPRACOVANÉ HODNOTY

Processed values - Verrechnete Daten

61,0	350,6	88,50	21,71	26,76
69,6	400,1	88,50	29,00	30,62
78,3	450,2	87,88	37,13	35,71

EXTRAPOLATION - M_{max}

U [%]	U [V]	n [%]	M [Nm]	I [A]
100,0	575,0	87,19	62,94	46,75

Datum : 10.1.2006

Čas :

Měřil : Vůjta Josef

Fotografie poškozeného elektromotoru

