

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

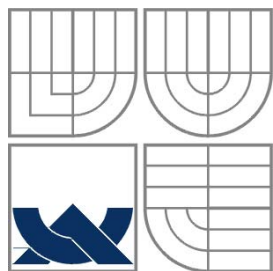
IDENTIFIKACE PARAMETRŮ NÁHRADNÍHO ZAPOJENÍ ASYNCHRONNÍHO STROJE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

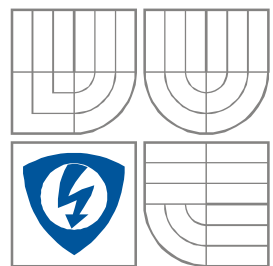
Jan Otýpka

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

IDENTIFIKACE PARAMETRŮ NÁHRADNÍHO ZAPOJENÍ ASYNCHRONNÍHO STROJE

Parameter identification of the asynchronous machine substituting circuit

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Jan Otýpka

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. Miroslav Patočka

BRNO, 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Otýpka Jan

Ročník: 3

ID: 78326

Akademický rok: 2007/08

NÁZEV TÉMATU:

Identifikace parametrů náhradního zapojení asynchronního motoru

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Prostudujte možnosti vytvoření přesného náhradního zapojení asynchronního motoru ve tvaru Gama-článku, inverzního Gama-článku a T-článku.
2. U konkrétního motoru identifikujte experimentálně parametry náhradního zapojení ve tvaru -článku. Identifikaci proveďte: a) pomocí dvou pracovních bodů ležících v blízkosti bodu jmenovitého, b) pomocí měření naprázdno a nakrátko. Výsledky obou postupů porovnejte.
3. Pomocí náhradního zapojení, identifikovaného v předchozím bodu, vypočtete závislost momentu a statorového proudu na skluzu, na rotorovém kmitočtu a na mechanických otáčkách. Vypočtené a změřené závislosti porovnejte. .

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Termín zadání: 10.10.2007

Termín odevzdání: 06.06.2008

Vedoucí projektu: doc. Dr. Ing. Miroslav Patočka

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Jan Otýpka
Bytem: Ostravice 462
Narozen/a (datum a místo): 26.11.1985 Čeladná

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
doc. Ing. Čestmír Ondrušek, CSc., předseda oborové rady Silnoproudá
elektrotechnika a elektroenergetika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Identifikace parametrů náhradního zapojení asynchronního motoru
Vedoucí/ školitel VŠKP: doc. Dr. Ing. Miroslav Patočka
Ústav: Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky
Datum obhajoby VŠKP: 17.6.2008

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- tištěné formě – počet exemplářů 1
- elektronické formě – počet exemplářů 1

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užit, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Abstrakt

V této práci se zabývám řešením identifikace parametrů náhradního zapojení pro asynchronní motor s kotvou nakrátko pomocí Γ -článku, inverzního T -článku a T -článku. Aby byla identifikace co nejpřesnější, využívám experimentálních metod, teoretických postupů, štítkových i konstrukčních údajů. V práci jednotlivě rozebírám různé metody identifikace a srovnávám řešení podle konstrukce momentové charakteristiky z těchto zjištěných parametrů. Dále se v práci zabývám srovnáním dvou konstrukčně podobných motorů s kotvou nakrátko o výkonu 2,2kW, $2p = 2$.

Abstract

This work deals the precise identification of the substituting circuit parameters of the asynchronous machine for the gama-network, inverted Gama-network, T-network. I make use the best identification of the substituting circuit parameters of the asynchronous machine experimental method, theoretical procedurs and konstruktion dates. In this work I solve various methods of identification and i compare solving like konstruktion moment's characteristics from these establishen parametrs. Further I'm solving in my work comparations of two the costruktion of them is similar with asyhronous mashins with power of 2,2kW , $2p = 2$.

Klíčová slova

Gama-článek; inverzní Gama-článek; T-článek; náhradní zapojení; asynchronní motor; identifikace parametrů

Keywords

Gama-network; inverted Gama-network; T-network; substituting circuit; asynchronous machine; parameter identification

Bibliografická citace

OTÝPKA, J. *Identifikace parametrů náhradního zapojení asynchronního motoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 68 str. Vedoucí bakalářské práce doc. Dr. Ing. Miroslav Patočka, .

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Identifikace parametrů náhradního zapojení 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

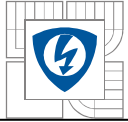
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Dr. Ing. Miroslavu Patočkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

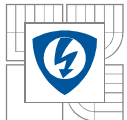
V Brně dne

Podpis autora



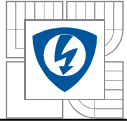
OBSAH

1. Úvod	15
2. Identifikace náhradního zapojení ve tvaru Γ -článku.....	16
2.1. Srovnání T-článku s Γ -článkem.....	16
2.2. Identifikace pomocí metody blízkých bodů A a B s uvažováním ztrát v železe.	17
2.2.1. Výpočet parametrů Γ -článku metodou A+B.....	19
2.2.2. Výpočet parametrů Γ -článku metodou B+A.....	24
2.2.3. Přepočtení Γ -článku na inverzní T-článek.....	31
2.2.4. Přepočtení Γ -článku na inverzní T-článek.....	32
2.2.5. Pomocí metody blízkých bodů A a B se zanedbáním ztrát v železe.....	33
2.3. Identifikace klasickou metodou naprázdno a nakrátko.....	45
2.3.1. Identifikace vycházející z měření nakrátko.....	47
2.3.2. Identifikace vycházející z měření naprázdno.....	50
3. Výsledná tabulka identifikovaných parametrů.....	56
4. Výpočet momentu a proudu statoru.....	57
5. Závěr.....	61
6. Literatura.....	62
7. Přílohy.....	63
Příloha A	63
Příloha B.....	63
Příloha C.....	64
Příloha D.....	66
Příloha E.....	68



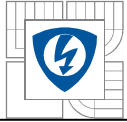
SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1:	Náhrada T-článku za a) Γ -článek nebo b) inverzní Γ -článek	16
Obr.2:	Kompletní Γ -článek s doplněným odporem R_1 a R_{Fe}	17
Obr.3:	a) vstupní impedance náhradního zapojení musí být stejná jako b) změřená impedance	17
Obr.4:	Představa rozmístění bodů A a B na momentové charakteristice a) metoda A+B, b) metoda B+A	18
Obr.5:	Průběhy momentu u motoru s klasickým vinutím	27
Obr.6:	Průběhy proudu u motoru s klasickým vinutím	28
Obr.7:	Průběhy momentu u motoru se speciálním vinutím	30
Obr.8:	Průběhy proudu u motoru se speciálním vinutím	30
Obr. 9:	Náhradní zapojení asynchronního motoru ve tvaru Γ -článku se zanedbáním ztrát v železe	33
Obr.10:	Průběhy momentu u motoru s klasickým vinutím pro druhou a čtvrtou možnost	42
Obr.11:	Průběhy proudu statoru u motoru s klasickým vinutím pro druhou a čtvrtou možnost	42
Obr.12:	Průběhy momentu u motoru se speciálním vinutím pro druhou a čtvrtou možnost	44
Obr.13:	Průběhy proudu statoru u motoru se speciálním vinutím pro druhou a čtvrtou možnost	45
Obr. 14:	Vstupní impedance náhradního zapojení a) nahrazená změřenou impedancí b).	45
Obr. 15:	Názorná představa řešení na momentové charakteristice klasickou metodou naprázdno a nakrátko	46
Obr.16:	Řešení Γ -článku postupem v měření nakrátko	47
Obr.17:	Řešení Γ -článku postupem v měření nakrátko	48
Obr.18:	Řešení T-článku postupem v měření nakrátko	48
Obr.19:	Úprava náhradního zapojení pro Γ -článek, resp. vstupní impedance	50
Obr.20:	Úprava náhradního zapojení pro Γ -článek	51
Obr.21:	Úprava náhradního zapojení pro T-článek	52
Obr.22:	Průběh momentu v závislosti na otáčkách hřídele n u motoru s klasickým vinutím	59
Obr.23:	Průběh proudu statoru v závislosti na otáčkách hřídele n u motoru s klasickým vinutím	59
Obr.24:	Průběh momentu v závislosti na otáčkách hřídele n u motoru se speciálním vinutím	60
Obr.25:	Průběh proudu statoru v závislosti na otáčkách hřídele n u motoru se speciálním vinutím	60



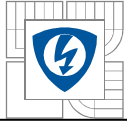
SEZNAM TABULEK

Tab.1a:	Změřené hodnoty zatěžovací charakteristiky pro motor s klasickým vinutím	19
Tab.1b:	Změřené hodnoty zatěžovací charakteristiky pro motor s klasickým vinutím	20
Tab.2a:	Změřené hodnoty zatěžovací charakteristiky pro motor se speciálním vinutím	22
Tab.2b:	Změřené hodnoty zatěžovací charakteristiky pro motor se speciálním vinutím	23
Tab.3:	Výtažek hodnot pro identifikaci metodou B+A k motoru s klasickým vinutím	24
Tab.4:	Výtažek hodnot pro identifikaci metodou B+A k motoru se speciálním vinutím	25
Tab.5:	Identifikované hodnoty metodou A+B pro motor s klasickým vinutím a) všech hodnot, b) fyzikálně nerealizovatelných	26
Tab.6:	Identifikované hodnoty metodou B+A pro motor s klasickým vinutím a) všech hodnot, b) fyzikálně nerealizovatelných	27
Tab.7:	Identifikované hodnoty metodou A+B pro motor se speciálním vinutím a) všech hodnot, b) fyzikálně nerealizovatelných	28
Tab.8:	Identifikované hodnoty metodou B+A pro motor se speciálním vinutím a) všech hodnot, b) fyzikálně nerealizovatelných	29
Tab.9:	Výpočet parametrů náhradního zapojení u motoru s klasickým vinutím v bodech $M_A = 8\text{Nm}$ a $M_B = 10\text{Nm}$ pro všechny čtyři možnosti	41
Tab.10:	Výpočet parametrů náhradního zapojení u motoru s klasickým vinutím v různých bodech pro možnost dva a čtyři	41
Tab.11:	Výpočet parametrů náhradního zapojení u motoru se speciálním vinutím v bodech $M_A = 8\text{Nm}$ a $M_B = 10\text{Nm}$ pro všechny čtyři možnosti	43
Tab.12:	Výpočet parametrů náhradního zapojení u motoru se speciálním vinutím v různých bodech pro možnost dva a čtyři	44
Tab.13:	Hodnoty z měření nakrátko pro motor s klasickým vinutím	47
Tab.14:	Tabulka identifikovaných parametrů podélné větve pro Γ -článek, Γ -článek a T-článek pro motor se speciálním vinutím	49
Tab.15:	Hodnoty z měření nakrátko pro motor se speciálním vinutím	49
Tab.16:	Tabulka identifikovaných parametrů podélné větve pro Γ -článek, Γ -článek a T-článek pro motor se speciálním vinutím	50
Tab.17:	Hodnoty z měření naprázdno pro motor s klasickým vinutím	53
Tab.18:	Identifikované hodnoty pro Γ -článek u motoru s klasickým vinutím	53
Tab.19:	Identifikované hodnoty pro Γ -článek u motoru s klasickým vinutím	53
Tab.20:	Identifikované hodnoty pro T-článek u motoru s klasickým vinutím	54
Tab.21:	Hodnoty z měření naprázdno pro motor se speciálním vinutím	54
Tab.22:	Identifikované hodnoty pro Γ -článek u motoru se speciálním vinutím	55
Tab.23:	Identifikované hodnoty pro Γ -článek u motoru se speciálním vinutím	55
Tab.24:	Identifikované hodnoty pro T-článek u motoru se speciálním vinutím	56
Tab.25:	Tabulka všech identifikovaných parametrů pro oba motory	56

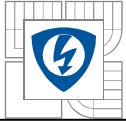


SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

$\cos\varphi_1$	Učíník fáze 1	-
$\cos\varphi_2$	Učíník fáze 2	-
$\cos\varphi_3$	Učíník fáze 3	-
$\cos\varphi$	Učíník	-
$I_{1\text{rms}}$	Střední hodnota proudu fáze 1	A
$I_{2\text{rms}}$	Střední hodnota proudu fáze 1	A
$I_{3\text{rms}}$	Střední hodnota proudu fáze 1	A
I	střední hodnota proudu	A
k	činitel vazby	-
L_A	Indukčnost v bodě A (část vstupní impedance)	H
L_B	Indukčnost v bodě B (část vstupní impedance)	H
$L_{1\text{m}}$	Magnetizační indukčnost	H
$L_{1\text{mG}}$	Magnetizační indukčnost pro G-článek	H
$L_{1\text{mIG}}$	Magnetizační indukčnost pro IG-článek	H
$L_{1\text{mT}}$	Magnetizační indukčnost pro T-článek	H
L_{s1}	rozptylová indukčnost	H
$L_{s1\text{IG}}$	rozptylová indukčnost pro IG-článek	H
$L_{s1\text{T}}$	rozptylová indukčnost pro T-článek	H
L'_{s2}	Rotorová rozptylová indukčnost přepočítaná na stator	H
$L'_{s2\text{G}}$	Rotorová rozptylová indukčnost přepočítaná na stator pro G-článek	H
$L'_{s2\text{T}}$	Rotorová rozptylová indukčnost přepočítaná na stator pro T-článek	H
L_K	Indukčnost nakrátko (část impedance nakrátko)	H
M	Moment motoru	Nm
M_A	Moment motoru v bodě A	Nm
M_B	Moment motoru v bodě B	Nm
n	Mechanické otáčky hrřídele	min^{-1}
n_A	Mechanické otáčky v bodě A	min^{-1}
n_B	Mechanické otáčky v bodě B	min^{-1}
P_1	činný výkon fáze1	W
P_2	činný výkon fáze2	W
P_3	činný výkon fáze2	W
P	činný výkon	W



Q_1	Jalový výkon fáze 1	VAr
Q_2	Jalový výkon fáze 2	VAr
Q_3	Jalový výkon fáze 3	VAr
Q	Jalový výkon	VAr
R	Odpor představující mechanické zatížení a jouleovy ztráty v rotoru	W
R_G	Odpor představující mechanické zatížení a jouleovy ztráty v rotoru pro G-článek	W
R_{IG}	Odpor představující mechanické zatížení a jouleovy ztráty v rotoru pro IG-článek	W
R_T	Odpor představující mechanické zatížení a jouleovy ztráty v rotoru pro T-článek	W
R_A	Odpor v bodě A	W
R_B	Odpor v bodě B (část vstupní impedance)	W
R_K	Odpor nakrátko (část impedance nakrátko)	W
R_{Fe}	Odpor představující ztráty v železe a ztráty mechanické	W
R_{FeG}	Odpor představující ztráty v železe a ztráty mechanické pro G-článek	W
R_{FeIG}	Odpor představující ztráty v železe a ztráty mechanické pro IG-článek	W
R_{FeT}	Odpor představující ztráty v železe a ztráty mechanické pro T-článek	W
S_1	Zdánlivý výkon fáze1	VA
S_2	Zdánlivý výkon fáze2	VA
S_3	Zdánlivý výkon fáze3	VA
S	Zdánlivý výkon	VA
s	Skluž	-
s_A	Skluž v bodě A	-
s_B	Skluž v bodě B	-
U_{rms1}	Středné hodnota napětí fáze 1	V
U_{rms2}	Středné hodnota napětí fáze 2	V
U_{rms3}	Středné hodnota napětí fáze 2	V
U	Střední hodnota napětí	V
Z_k	Impedance nakrátko	W
Z_{VST}	Vstupní impedance	W
w	Úhlová rychlost	rad/s



1 Úvod

Asynchronní motory jsou v dnešní době nejčastěji používanými stroji v pohonech díky svým vlastnostem:

- jednoduché řízení
- výhodný průběh momentové charakteristiky
- možnost přímého připojení na síť
- jednoduchá konstrukce
- nízká cena
- vysoká spolehlivost (zvláště pak u motoru s kotvou nakrátko)

Abychom mohli tyto stroje řídit, musíme jejich vlastnosti matematicky popsat. Obvykle se používá matematický model asynchronního motoru v podobě náhradního zapojení, které obsahuje několik parametrů (obvodových prvků). Parametry je nutno pro daný stroj určit co nejpřesněji. Náhradní zapojení asynchronního motoru může mít podobu **Γ -článku**, inverzního **T -článku** nebo klasického **T -článku**. V práci se zabývám experimentální identifikací parametrů všech tří náhradních zapojení.

Podrobněji se zaměřuji na náhradní zapojení ve tvaru **Γ -článku**, u něhož provádím identifikaci jednak klasickou metodou měření v bodech naprázdno a nakrátko (P, K), a jednak novou metodou měření v bodech (A, B), blízkých bodu jmenovitému.

Přesnost identifikace ověřuji tak, že porovnávám měřené momentové a proudové charakteristiky $M = f(n)$ a $I = f(n)$ s charakteristikami spočítanými z matematického modelu.

Dalším úkolem této práce bylo porovnat dva konstrukčně podobné motory o výkonu $P_N = 2,2$ kW ovšem s rozdílným statorovým vinutím:

1. První motor má klasické dvoupólové vinutí. Typ AOM090L02-016 (v textu dále označen jako *motor s klasickým vinutím*).
2. Druhý má speciálně navržené dvouvrstvé dvoupólové vinutí. Typ AOM090L02-XXX (v textu označen jako *motor se speciálním vinutím*).

Oba motory porovnávám jak z hlediska identifikace parametrů náhradního zapojení, tak i po stránce výkonu a účinnosti.

2 Identifikace náhradního zapojení ve tvaru Γ -článku:

2.1 Srovnání T-článku s Γ -článkem:

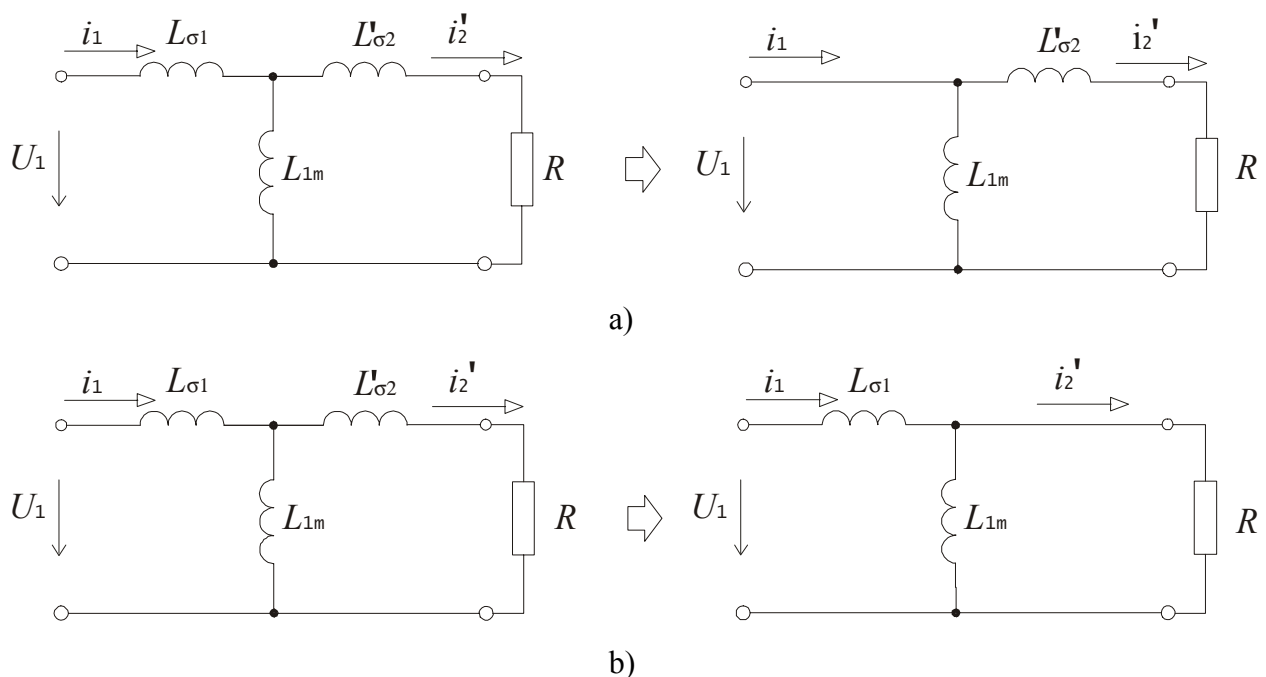
V technické praxi se pro řešení elektrických strojů využívá náhradního zapojení složeného z pasivních prvků. Do dnešní doby se užívá náhradní zapojení ve tvaru symetrického T-článku u transformátoru nebo u motoru [1].

Každý přenosový dvojbran, tj. i transformátor, má vždy tři stupně volnosti, proto jej lze popsat pouze třemi obvodovými parametry [2] (kap.11.8). Pokud však pracujeme s dvojbranem v podobě náhradního zapojení, které obsahuje zátěž přepočítanou na primární stranu, pak se impedance zátěže stává nedílnou součástí náhradního zapojení (vlivem přepočtu) a tudíž nevhodně a zbytečně zvyšuje počet stupňů volnosti o jedničku, tj. na čtyři stupně ($L_{\sigma 1}$, $L'_{\sigma 2}$, L_{1m} , R).

Vzniklé náhradní zapojení však musí mít pořád pouze tři stupně volnosti. Odtud jednoznačně plyne, že jedna z rozptylových indukčností $L_{\sigma 1}$, $L'_{\sigma 2}$ je zbytečná a lze ji pomocí vhodného matematického přepočtu zcela odstranit.

Takže se nabízí možnost přepočíst T-článek na Γ -článek. Celkové řešení se nám pak zjednoduší a můžeme snadněji identifikovat transformátor nebo motor.

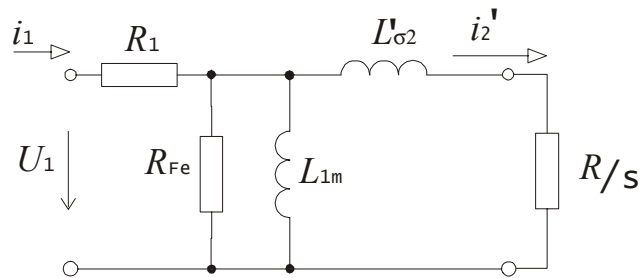
V literatuře [3] nebo [4] je uveden převod z T-článku na Γ -článek, ovšem s dosti značnou nepřesností. Proto zde uvádím matematicky přesný přepočet T-článku na Γ -článek (a naopak) podle [5].



Obr.1: Náhrada T-článku za a) Γ -článek nebo b) inverzní T-článek

Schéma na Obr.1 je zjednodušeno tím, že neobsahuje odpor primárního vinutí a odpor představující ztráty v železe.

Doplníme tedy schéma Γ -článku o odpor statoru R_1 a odpor R_{Fe} představující ztráty jak v železe, tak i ztráty mechanické (ventilátorové) a dostaneme schéma, jenž přesně vystihuje chování asynchronního motoru. Oba tyto odpory můžeme přesně určit. Odpor R_1 statorového vinutí můžeme změřit přímo na motoru pomocí Ω -metru a odpor R_{Fe} určíme nepřímo z charakteristiky naprázdno.

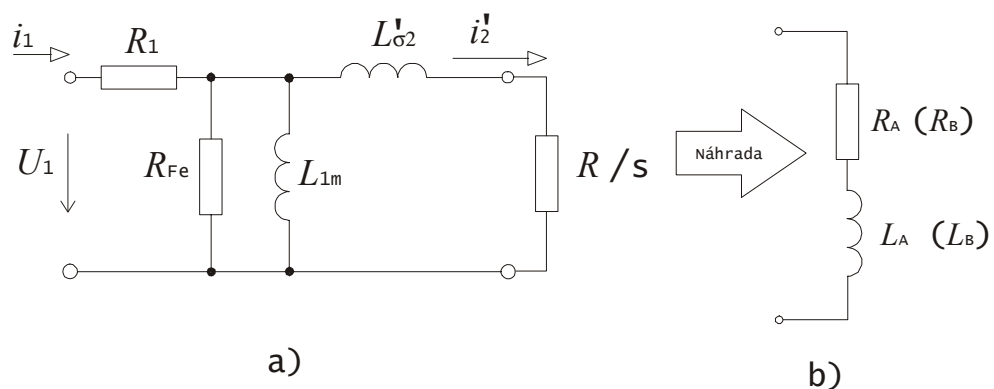


Obr.2: Kompletní Γ -článek s doplněným odporem R_1 a R_{Fe}

2.2 Identifikace pomocí metody blízkých bodů A a B s uvažováním ztrát v železe:

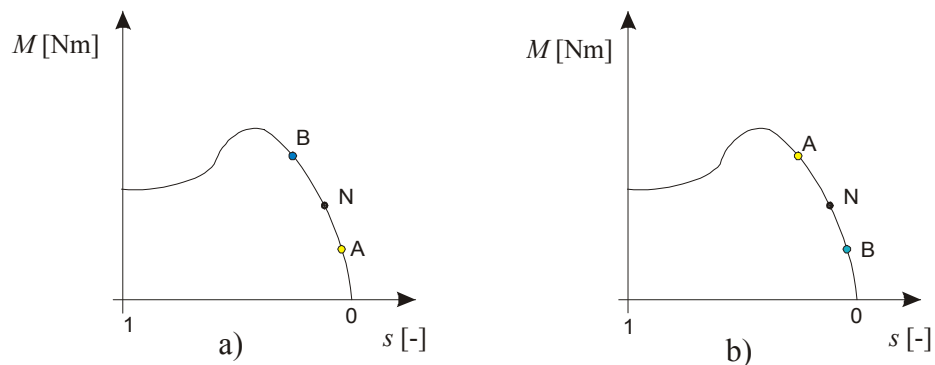
Z naměřených hodnot napětí, proudu, příkonu a momentu lze určit experimentálně pro jednu fázi vstupní impedanci stroje ve dvou pracovních bodech A a B, které se nacházejí v okolí jmenovitého bodu (jmenovitý bod by se měl nacházet mezi body A a B nebo může být i jedním z nich) na momentové charakteristice [2].

Ze zjištěných hodnot R_A, L_A v bodě A a hodnot R_B, L_B v bodě B hledáme takové hodnoty prvků $R_1, R_{Fe}, L_{1m}, L'_{\sigma 2}, R$, aby byla vstupní impedance na obrázku totožná s impedancí experimentálně určenou viz. obr. 3.



Obr.3: a) vstupní impedance náhradního zapojení musí být stejná jako b) změřená impedance

Při řešení mohou nastat dva různé případy, kdy dochází k záměně bobů A a B viz. obr.4. Tato záměna má vliv na řešení viz. kapitoly výpočet Γ -článku metodou A+B a B+A a dochází k získání různých matematicky správných řešení. Tyto řešení jsou buď dosti podobná – fyzikálně správná (mezi metodami A+B a B+A) nebo jsou fyzikálně nerealizovatelná, ovšem matematicky správná.



Obr.4: Představa rozmístění bodů A a B na momentové charakteristice a) metoda A+B, b) metoda B+A

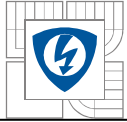
Podle Obr.2 a) teoreticky odvodíme algebraický komplexní výraz pro vstupní impedanci. Tuto impedanci porovnáme s experimentálně změřenou vstupní impedancí, kterou v Obr.2 b) představuje sériová kombinace R, L. Experiment musí být proveden ve dvou pracovních bodech motoru označených A, B, tj. při dvou experimentálně určených skluzech s_A , s_B , viz Tab.1. Tím získáme dvě rovnice obsahující komplexní výrazy. Porovnáním zvlášť jejich reálných a zvlášť imaginárních částí získáme soustavu čtyř rovnic o čtyřech neznámých parametrech L_1 , L_2 , R_{Fe} , R . Odpor statorového vinutí R_1 považujeme za známý, předem jednoznačně experimentálně zjistitelný.

Při řešení soustavy postupujeme běžným eliminačním způsobem, tj. z jedné rovnice vyjádříme jeden hledaný parametr, dosadíme ho do zbývajících rovnic a získáme tak soustavu, která je o jednu rovnici menší než soustava původní. Pomocí zpětného dosazení dopočítáme ostatní hledané parametry. Postup neustále opakujeme a snižujeme počet neznámých. Jestliže volíme výpočet parametrů v pořadí: R , L_2 , L_1 , R_{Fe} , pak má poslední rovnice pro výpočet odporu R_{Fe} tvar:

$$\sum_{i=0}^{14} R_{Fe}^i \cdot K = 0 \quad (1)$$

kde K ... obecná konstanta tvořená algebraickou kombinací parametrů R_1 , R_A (R_B), L_A (L_B), s_A (s_B) a kmitočtu ω .

Tato rovnice je bohužel čtrnáctého řádu (!) a jsou v ní obsaženy všechny mocniny od nultého až po čtrnáctý řád. Algebraicky je tato rovnice neřešitelná. Řešitelná je pouze pomocí numerických metod. Konvergence numerických iteračních postupů ovšem závisí na odhadu výsledku a na znalosti oboru konvergence. Tento způsob výpočtu je z čistě matematického hlediska možný, bohužel v našem případě prakticky nepoužitelný.



Po zralé úvaze lze doporučit následující východisko z této složité situace: Parametr R_{FM} budeme považovat za známou hodnotu - lze ho totiž poměrně přesně určit ze znalostí konstrukce asynchronního stroje a z měření naprázdno. Počet rovnic v soustavě se sníží o jedničku. Řešení soustavy má potom následující tvar:

$$R_{\Gamma} = \frac{\omega^2 L_A L_{1m} L'_{\sigma 2} s_A - L_{1m} K_1 - L'_{\sigma 2} K_1}{L_A R_{Fe} + L_{1m} R_X - L_{1m} R_{Fe}} \quad (1.1)$$

$$L'_{\sigma 2} = \frac{L_{1m}^2 K_4 - L_{1m} K_3}{L_{1m}^2 K_2 - L_{1m} 2K_4 + K_3} \quad (1.2)$$

$$L_{1m} = \frac{K_{10} \pm \sqrt{K_{10}^2 - K_9 K_{11}}}{K_9} \quad (1.3)$$

Konstanty K jsou uvedené ve výpočtu metodou A+B a jsou to vztahy (1.1.1) až (1.1.13)

2.2.1 Výpočet parametrů Γ -článku metodou A+B:

Při identifikaci vycházím ze zatěžovací charakteristiky a bod A se snažím volit blíže ke skluzu $s=0$ naopak bod B volím o něco výše na zatěžovací charakteristice blíže ke skluzu $s=1$.

Měření bylo provedeno metodou tří wattmetrů s nepropojeným středem vinutí na motoru.

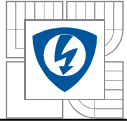
Pro nás je určující charakteristika s $U = \text{konst.} = 400\text{V}$

Modře jsou vyjádřeny hodnoty pro bod A, žlutě pro bod B

Pro motor s klasickým vinutím jsem obdržel tyto hodnoty:

M [Nm]	n [min^{-1}]	U_{rms1} [V]	U_{rms2} [V]	U_{rms3} [V]	U_{rms} [V]	$I_{1\text{rms}}$ [A]	$I_{2\text{rms}}$ [A]	$I_{3\text{rms}}$ [A]	I_{rms} [A]
2	2972	231,34	232,74	233,18	232,42	2,1	2,28	2,33	2,24
4	2943	231,1	232,68	232,07	231,95	2,73	2,97	2,93	2,88
5	2930	231,27	230,3	233,11	231,56	3,14	3,38	3,33	3,28
6	2914	232,08	231,76	x	231,92	3,73	3,73	x	3,73
7,3	2894	230,88	232,75	232,98	232,20	4,22	4,44	4,31	4,32
8	2878	230,55	232,31	232,85	231,90	4,48	4,8	4,74	4,67
9	2856	230,41	232,04	232,13	231,53	5,15	5,35	5,21	5,24
10	2831	230,28	231,47	229,1	230,28	5,61	5,82	5,75	5,73

Tab.1a: Změřené hodnoty zatěžovací charakteristiky pro motor s klasickým vinutím



P_1 [W]	P_2 [W]	P_3 [W]	P [W]	S_1 [VA]	S_2 [VA]	S_3 [VA]	S [VA]
258	305,82	268,95	832,77	486,62	531,17	543,68	1561,47
471,21	525,84	492,01	1489,06	631,66	691,35	680,04	2003,05
581,89	638,3	601,95	1822,14	725,38	779,49	776,53	2281,4
2170	2160	x	2165	2600	2590	x	2595
851,17	903,52	853,36	2608,05	974,45	1030	1000	3004,45
912,59	989,35	957,2	2859,14	1030	1120	1100	3250
1070	1120	1070	3260	1190	1240	1210	3640
1170	1220	1180	3570	1290	1350	1320	3960

Q_1 [VAr]	Q_2 [VAr]	Q_3 [VAr]	Q [VAr]	$\cos \varphi_1$	$\cos \varphi_2$	$\cos \varphi_3$	$\cos \varphi$
412,6	434,3	472,49	1319,39	0,5302	0,5758	0,4947	0,5336
420,66	448,83	469,46	1338,95	0,746	0,7606	0,7235	0,7434
433,1	447,41	490,58	1371,09	0,022	0,8189	0,7752	0,5387
1430	1420	x	1425	0,8352	0,8353	x	0,8353
474,4	502,01	527,51	1503,92	0,8735	0,8741	0,8506	0,8661
485,82	514,53	547,68	1548,03	0,8827	0,8872	0,868	0,8793
520,69	542,98	566,78	1630,45	0,8985	0,8991	0,8834	0,8937
547,09	564,27	588,78	1700,14	0,9059	0,9082	0,8947	0,9029

Tab.1b: Změřené hodnoty zatěžovací charakteristiky pro motor s klasickým vinutím

Bod B volím pro $M = 4$ Nm a bod A volím pro $M = 10$ Nm tak, aby jmenovitý pracovní bod ležel v intervalu mezi těmito momenty.

Potom můžu psát:

Odpor statoru byl změřen: $R_1 = 3,2\Omega$

Odpor představující ztráty v železe a ztráty mechanické :

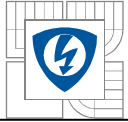
$$\Delta I_{oc} = I_{Fe} = \frac{\Delta P_{Fe} + \Delta P_m + \Delta P_{j10}}{m \cdot U_f} = \frac{225}{3 \cdot \frac{400}{\sqrt{3}}} = 0,324 \text{ A} \quad (1.4)$$

$$R_{Fe} = \frac{U_{1f} - I_1 \cdot R_1}{I_{Fe}} = \frac{231 - 3,2 \cdot 2,013}{0,324} = 692,89\Omega \quad (1.5)$$

Určení odporu v bodech A a B

$$R_A = \frac{P_A}{3 \cdot I_{rmsA}^2} = \frac{1489,06}{3 \cdot 2,88^2} = 59,842\Omega \quad (1.6)$$

$$R_B = 36,224\Omega$$



Určení indukčnosti v bodech A a B

$$L_A = \frac{Q_A}{3 \cdot \omega \cdot I_{rmsA}^2} = \frac{1338,95}{3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 2,88^2} = 0,171 \text{ H} \quad (1.7)$$

$$L_B = 0,055 \text{ H}$$

Určení skluzu v bodech A a B

$$s_A = \frac{n_s - n_A}{n_s} = \frac{3000 - 2943}{3000} = 0,019 \quad s_B = 0,05633 \quad (1.8)$$

Určení substitučních konstant :

$$K_1 = R_{Fe} R_X s_A = 745,6974 \quad (1.1.1)$$

$$R_X = R_A - R_{-1} = 56,641 \Omega \quad (1.1.2)$$

$$K_2 = \omega^2 R_X^2 - 2\omega^2 R_{Fe} R_X + \omega^4 L_A^2 + \omega^2 R_{Fe}^2 = 4,024 \cdot 10^{10} \quad (1.1.3)$$

$$K_3 = \omega^2 L_A^2 R_{Fe}^2 + R_{Fe}^2 R_X^2 = 2,9305 \cdot 10^9 \quad (1.1.4)$$

$$K_4 = \omega^2 L_A R_{Fe}^2 = 8,1161 \cdot 10^9 \quad (1.1.5)$$

$$K_5 = R_{Fe} R_X R_Y \left(1 - \frac{s_A}{s_B}\right) + R_{Fe}^2 R_X \frac{s_A}{s_B} - R_{Fe}^2 R_Y = -5,8376 \cdot 10^6 \quad (1.1.6)$$

$$R_Y = R_B - R_1 = 33,0446 \Omega \quad (1.1.7)$$

$$K_6 = L_A R_{Fe}^2 R_Y - L_B R_{Fe}^2 R_X \frac{s_A}{s_B} = 2,213 \cdot 10^6 \quad (1.1.8)$$

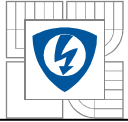
$$K_7 = K_5 - \omega^2 L_A L_B R_{Fe} \left(1 - \frac{s_A}{s_B}\right) = -6,25977 \cdot 10^6 \quad (1.1.9)$$

$$K_8 = \omega^2 L_A \frac{s_A}{s_B} (R_Y - R_{Fe}) + \omega^2 L_B (R_{Fe} - R_X) = -2,01476 \cdot 10^5 \quad (1.1.10)$$

$$K_9 = K_2 K_5 + K_4 K_8 = -2,3637 \cdot 10^{17} \quad (1.1.11)$$

$$K_{10} = \frac{1}{2} (K_3 K_8 + 2K_4 K_5 - K_2 K_6 - K_4 K_7) = -6,677 \cdot 10^{16} \quad (1.1.12)$$

$$K_{11} = K_3 K_5 - K_4 K_6 - K_3 K_7 = -1,6717 \cdot 10^{16} \quad (1.1.13)$$



Dosažením konstant do vztahu 1.3 obdržíme:

$$L_{1m} = \frac{K_{10} \pm \sqrt{K_{10}^2 - K_9 K_{11}}}{K_9} = \begin{matrix} L_{11m} = 0,3778H - \text{pro} - \\ L_{12m} = 0,1872H - \text{pro} + \end{matrix}$$

$$L'_{\sigma 2} = \frac{L_{1m}^2 K_4 - L_{1m} K_3}{L_{1m}^2 K_2 - L_{m1} 2K_4 + K_3} = \begin{matrix} L'_{\sigma 21} = 0,0202H \\ L'_{\sigma 22} = -0,2029H \end{matrix}$$

$L'_{\sigma 2} = -0,2029 H$ neuvažují při dalším výpočtu z důvodů fyzikální správnosti.

$$R_{\Gamma} = \frac{\omega^2 L_A L_{1m} L'_{\sigma 2} s_A - L_{1m} K_1 - L'_{\sigma 2} K_1}{L_A R_{Fe} + L_{1m} R_X - L_{1m} R_{Fe}} = 2,419 \Omega$$

.Hodnoty s $L_{1m2}, L'_{\sigma 22}$ neuvažují z důvodů fyzikální realizace.

Identifikace u motoru se speciálním vinutím:

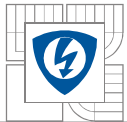
Při měření na motoru AOM090L02-XXX, který je typově podobný a o stejném výkonu jako motor AOM090L02-016, ale se speciálním vinutím, jenž má mít ve vzduchové mezeře sinusový průběh magnetické indukce. Jelikož jmenovitý moment zřejmě neodpovídá momentu udávanému na štítku, volím bod B v momentu $M = 8 \text{ Nm}$, bod A volím v momentu $M = 4 \text{ Nm}$.

Byly zjištěny tyto hodnoty pro $U = \text{kont.} = 400V$:

M [Nm]	n [min^{-1}]	U_{rms1} [V]	U_{rms2} [V]	U_{rms3} [V]	U_{rms} [V]	$I_{1\text{rms}}$ [A]	$I_{2\text{rms}}$ [A]	$I_{3\text{rms}}$ [A]	I_{rms} [A]
2	2972	231,06	231,97	232,59	231,87	2,22	2,31	2,43	2,32
4	2947	231,14	231,86	232,26	231,75	2,84	3	2,97	2,94
5	2934	230,42	231,47	231,76	231,22	3,2	3,41	3,39	3,33
6	2918	230,25	231,29	231,51	231,02	3,61	3,8	3,76	3,72
7,3	2898	230,03	231,2	231,64	230,96	4,19	4,38	4,35	4,31
8	2886	230,15	231,01	231,54	230,90	4,54	4,71	4,67	4,64
9	2866	229,88	230,99	231,54	230,80	5,04	5,21	5,16	5,14
10	2844	229,72	231,26	231,59	230,86	5,58	5,76	5,69	5,68
12	2800	229,67	231,13	231,06	230,62	6,67	6,85	6,73	6,75

P_1 [W]	P_2 [W]	P_3 [W]	P [W]	S_1 [VA]	S_2 [VA]	S_3 [VA]	S [VA]
255,92	299,91	282,29	838,12	513,41	543,87	563,75	1621,03
480,12	518,49	491,65	1490,26	655,67	694,91	690,82	2041,4
582,87	635,26	603,19	1821,32	736,95	789,67	784,54	2311,16
690	739,59	703,57	2133,16	831,02	880,01	869,95	2580,98
833,73	883,89	857,3	2574,92	964,18	1010	1010	2984,18
916,67	961,84	935,95	2814,46	1050	1090	1080	3220
1030	1080	1050	3160,00	1160	1200	1200	3560
1160	1210	1180	3550,00	1280	1330	1320	3930
1410	1450	1410	4270,00	1530	1580	1560	4670

Tab.2a: Změřené hodnoty zatěžovací charakteristiky pro motor se speciálním vinutím



Q_1 [VAr]	Q_2 [VAr]	Q_3 [VAr]	Q [VAr]	$\cos \varphi_1$	$\cos \varphi_2$	$\cos \varphi_3$	$\cos \varphi$
445,08	442,88	490,29	1378,25	0,4985	0,5607	0,499	0,5194
446,52	462,67	485,3	1394,49	0,7323	0,7461	0,7117	0,7300
450,96	469,07	501,66	1421,69	0,7909	0,8045	0,7688	0,7881
463,12	476,88	511,65	1451,65	0,8303	0,8404	0,8088	0,8265
484,3	496,27	530,9	1511,47	0,8647	0,872	0,8502	0,8623
502,03	510,91	541,15	1554,09	0,8771	0,8831	0,8657	0,8753
521,39	531,32	564,15	1616,86	0,893	0,8972	0,8817	0,8906
545,94	561,4	587,54	1694,88	0,9048	0,9067	0,8951	0,9022
609,48	625,85	646,1	1881,43	0,9177	0,9185	0,9096	0,9153

Tab.2b: Změřené hodnoty zatěžovací charakteristiky pro motor se speciálním vinutím

Hodnoty zjištěné v bodech A a B (výpočty již neuvádím)

Odpor vinutí statoru a odpor představující ztráty v železe a ztráty mechanické:

$$R_1 = 3,1\Omega, R_{Fe} = 768,52\Omega$$

Hodnoty v bodě A:

$$R_A = 57,4707\Omega, L_A = 0,1712H, s_B = 0,017667$$

Hodnoty v bodě B:

$$R_B = 43,575\Omega, L_B = 0,077H, s_B = 0,038$$

Výpočet koeficientů K_1 až K_{11} vynechávám, postup výpočtu je stejný:

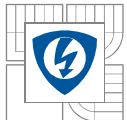
Určení indukčnosti L_{1m} - opět budou dva kořeny:

$$L_{1m} = \frac{K_{10} \pm \sqrt{K_{10}^2 - K_9 K_{11}}}{K_9} = \begin{matrix} L_{11m} = 0,3637H - pro - \\ L_{12m} = 0,1845H - pro + \end{matrix}$$

$$L'_{\sigma 2} = \frac{L_{1m}^2 K_4 - L_{1m} K_3}{L_{1m} K_2 - L_{1m} 2K_4 + K_3} = \begin{matrix} L'_{\sigma 21} = 0,0221H \\ L'_{\sigma 22} = -0,1990H \end{matrix}$$

$$R_{\Gamma} = \frac{\omega^2 L_A L_{1m} L'_{\sigma 2} s_A - L_{1m} K_1 - L'_{\sigma 2} K_1}{L_A R_{Fe} + L_{1m} R_X - L_{1m} R_{Fe}} = \begin{matrix} R_{\Gamma 1} = 2,203\Omega \\ R_{\Gamma 2} = 1,097\Omega \end{matrix}$$

Hodnoty s $L_{12m}, L'_{\sigma 22}, R_{\Gamma 2}$ neuvažuji z důvodů fyzikální realizace.



2.2.2 Výpočet parametrů Γ -článku metodou B+A:

Principiálně i prakticky je výpočet shodný s metodou A+B ovšem s tím rozdílem, že přehodíme body A a B v námi změřené zatěžovací charakteristice viz. Obr.4.

Pro motor s klasickým vinutím jsem obdržel tyto hodnoty ze zatěžovací charakteristiky v bodech B- $M_B = 4\text{Nm}$ a A- $M_A = 10\text{Nm}$:

	M [Nm]	n [min^{-1}]	U_{rms} [V]	I_{rms} [A]	P [W]	Q [VAR]	$\cos \varphi$
B	4	2943	231,1	2,88	1489,06	1338,95	0,7434
A	10	2831	230,28	5,73	3570	1700,14	0,9029

Tab.3: Výtazek hodnot pro identifikaci metodou B+A k motoru s klasickým vinutím

Odpor statoru byl změřen: $R_1 = 3,2\Omega$

Odpor představující ztráty v železe a ztráty mechanické $R_{Fe} = 692,89\Omega$

Hodnoty vypočtené v bodech A a B:

$$R_B = 59,842\Omega, L_B = 0,171\text{H}, s_B = 0,019, R_Y = 56,642\Omega$$

$$R_A = 36,244\Omega, L_A = 0,055\text{H}, s_A = 0,05633, R_X = 33,044\Omega$$

Konstanty:

$$K_1 = 1289,824$$

$$K_2 = 4,3 \cdot 10^{10}$$

$$K_3 = 6,67 \cdot 10^8$$

$$K_4 = 2,6034 \cdot 10^9$$

$$K_5 = 17295155$$

$$K_6 = -6562556$$

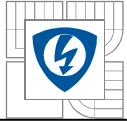
$$K_7 = 18559676$$

$$K_8 = 472292,2$$

$$K_9 = 7,44967 \cdot 10^{17}$$

$$K_{10} = 1,62128 \cdot 10^{17}$$

$$K_{11} = 1,62413 \cdot 10^{17}$$



$$L_{1m} = \frac{K_{10} \pm \sqrt{K_{10}^2 - K_9 K_{11}}}{K_9} = \begin{matrix} L_{11m} = 0,0578H / pro - \\ L_{12m} = 0,3775H / pro + \end{matrix}$$

$$L'_{\sigma 2} = \frac{L_{1m}^2 K_4 - L_{1m} K_3}{L_{1m}^2 K_2 - L_{1m} 2K_4 + K_3} = \begin{matrix} L'_{\sigma 21} = -0,0585H \\ L'_{\sigma 22} = 0,0247H \end{matrix}$$

$$R_{\Gamma} = \frac{\omega^2 L_A L_{1m} L'_{\sigma 2} s_A - L_{1m} K_1 - L'_{\sigma 2} K_1}{L_A R_{Fe} + L_{1m} R_X - L_{1m} R_{Fe}} = \begin{matrix} R_{\Gamma 1} = 0,542\Omega \\ R_{\Gamma 2} = 2,445\Omega \end{matrix}$$

Hodnoty s L_{11m} , $L'_{\sigma 21}$, $R_{\Gamma 1}$ neuvažují z důvodů fyzikální realizace.

Pro motor se speciálním vinutím jsem obdržel tyto hodnoty ze zatěžovací charakteristiky v bodech B- $M_B = 4\text{Nm}$ a A- $M_A = 8\text{Nm}$:

	M [Nm]	n [min^{-1}]	U_{rms} [V]	I_{rms} [A]	P [W]	Q [VAr]	$\cos \varphi$
B	4	2947	231,75	2,94	1490,26	1394,49	0,73
A	8	2886	230,90	4,64	2814,46	1554,09	0,8753

Tab.4: Výtažek hodnot pro identifikaci metodou B+A k motoru se speciálním vinutím

Odpor statoru byl změřen: $R_1 = 3,1\Omega$

Odpor představující ztráty v železe a ztráty mechanické $R_{Fe} = 768,52\Omega$

Hodnoty spočtené v bodech A a B:

$$R_B = 57,471\Omega, L_B = 0,171H, s_B = 0,017667, R_Y = 54,371\Omega$$

$$R_A = 43,575\Omega, L_A = 0,077H, s_A = 0,038, R_X = 40,475\Omega$$

Konstanty:

$$K_1 = 1182,024$$

$$K_2 = 5,2371 \cdot 10^{10}$$

$$K_3 = 1,3095 \cdot 10^9$$

$$K_4 = 4,465 \cdot 10^9$$

$$K_5 = 17360275,8$$

$$K_6 = -6342413$$

$$K_7 = 18504806$$

$$K_8 = 4701473$$

$$K_9 = 9,10960 \cdot 10^{17}$$

$$K_{10} = 2,0254 \cdot 10^{17}$$



$$K_{11} = 2,6817 \cdot 10^{17}$$

$$L_{1m} = \frac{K_{10} \pm \sqrt{K_{10}^2 - K_9 K_{11}}}{K_9} = \begin{matrix} L_{11m} = 0,0809H / \text{pro} - \\ L_{12m} = 0,3637H / \text{pro} + \end{matrix}$$

$$L'_{\sigma 2} = \frac{L_1^2 K_4 - L_1 K_3}{L_1^2 K_2 - L_1 2K_4 + K_3} = \begin{matrix} L'_{\sigma 21} = -0,0825H \\ L'_{\sigma 22} = 0,0229H \end{matrix}$$

$$R = \frac{\omega^2 L_A L_{1m} L'_{\sigma 2} S_A - L_{1m} K_1 - L'_{\sigma 2} K_1}{L_A R_{Fe} + L_{1m} R_X - L_{1m} R_{Fe}} = \begin{matrix} R_{\Gamma 1} = 0,587\Omega \\ R_{\Gamma 2} = 2,207\Omega \end{matrix}$$

Hodnoty s L_{11m} , $L'_{\sigma 21}$, $R_{\Gamma 1}$ neuvažují z důvodů fyzikální realizace.

Kombinací různých momentů v bodech A i B dostaneme různá řešení viz. Tab.5,6:

Pro motor s klasickým vinutím:

Metodou A+B

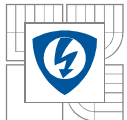
M_A [Nm]	M_B [Nm]	L_{1m} [H]	R [Ω]	$L'_{\sigma 2}$ [H]
4	6	0,374011	2,420842	0,015787
4	8	0,398901	2,397223	0,042848
4	10	0,377794	2,418512	0,020179
6	8	0,445089	2,428831	0,070226
6	10	0,380133	2,536569	0,042201
8	10	0,270351	2,388423	-0,011234
F-mat správné		0,37438	2,431733	0,030001
F-fyz správné		0,38271	2,431733	0,017983

a)

Fyz.nesprávné	L_{1m} [H]	R [Ω]	$L'_{\sigma 2}$ [H]
	0,270351	2,388423	-0,011234

b)

Tab.5: Identifikované hodnoty metodou A+B pro motor s klasickým vinutím a) všech hodnot, b) fyzikálně nerealizovatelných



Metodou B+A:

M_B [Nm]	M_A [Nm]	L_{1m} [H]	R [Ω]	$L'_{\sigma 2}$ [H]
4	6	0,373152	2,546648	0,038361
4	8	0,400094	2,333547	0,030131
4	10	0,377514	2,444579	0,024663
6	8	0,450743	2,288626	0,03899
6	10	0,382104	2,440699	0,025249
8	10	0,269646	2,5206	0,003918
F -mat správné		0,375542	2,429116	0,026885
F -fyz správné		0,383216	2,429116	0,024956

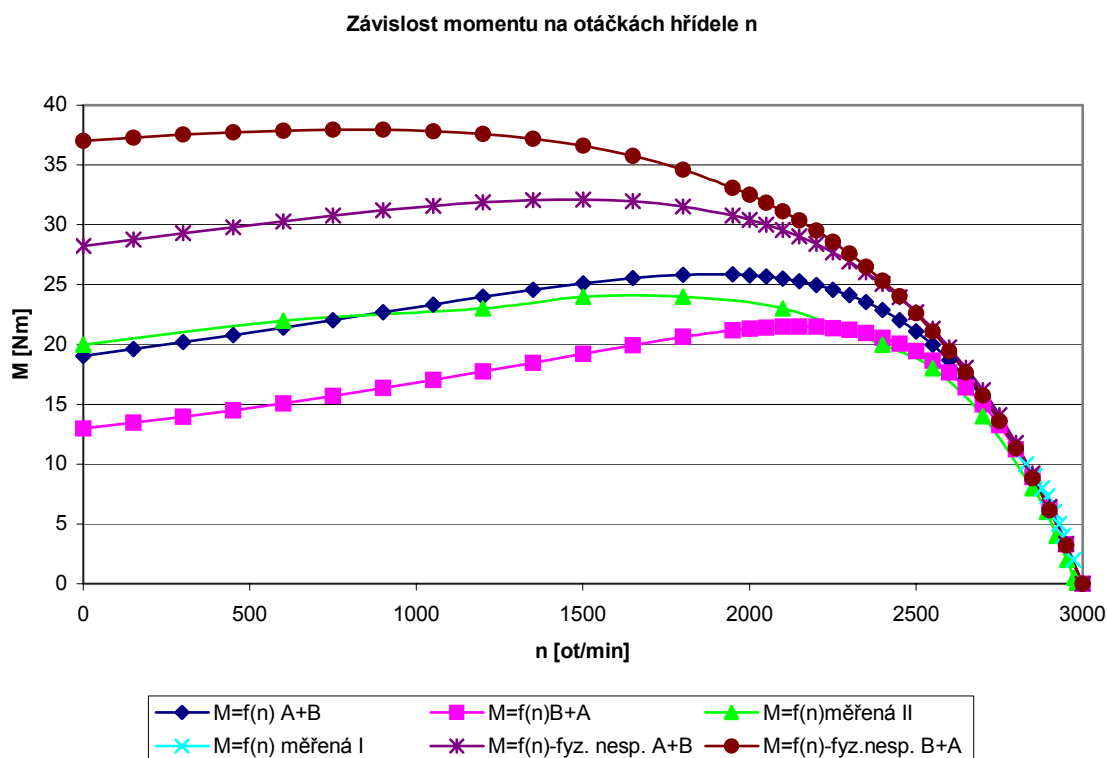
a)

Fyz.nesprávné	L_{1m} [H]	R [Ω]	$L'_{\sigma 2}$ [H]
	0,269646	2,5206	0,003918

b)

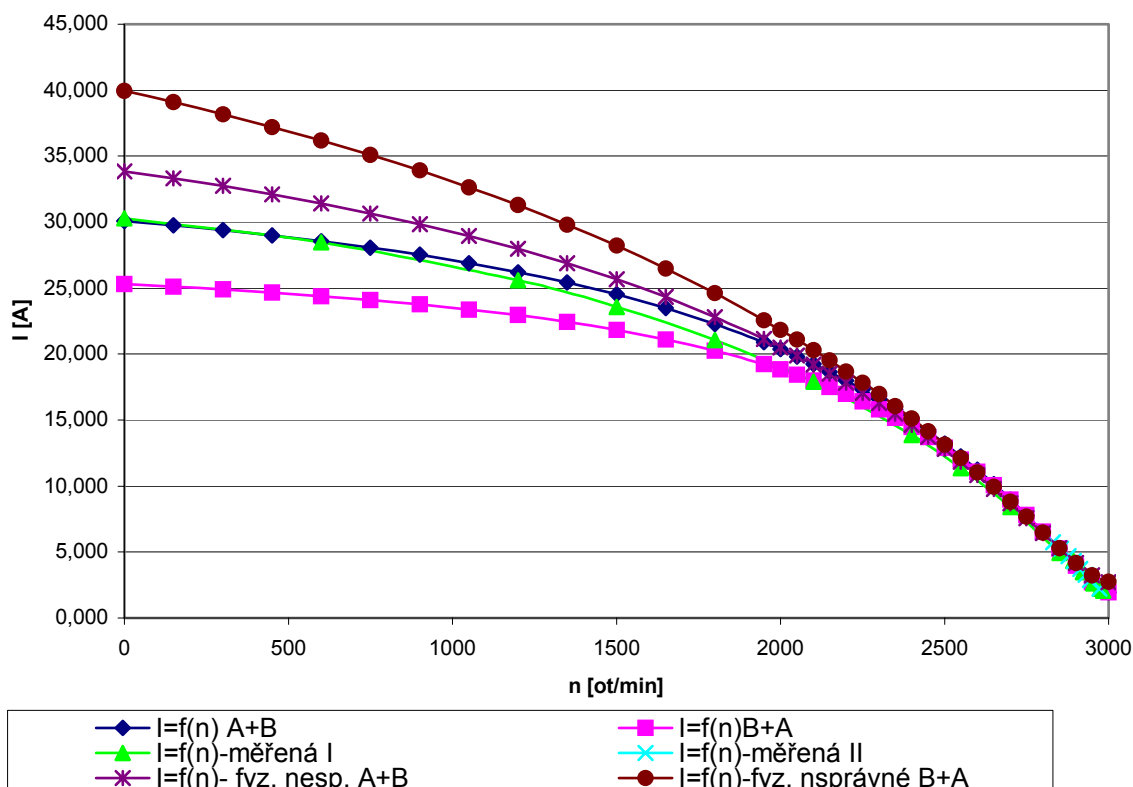
Tab.6: Identifikované hodnoty metodou B+A pro motor s klasickým vinutím a) všech hodnot, b) fyzikálně nerealizovatelných

Srovnání jednotlivých metod A+B a B+A u motoru s klasickým vinutím:



Obr.5: Průběhy momentu u motoru s klasickým vinutím

Závislost proudu stratoru na otáčkách hřídele



Obr.6: Průběhy proudu u motoru s klasickým vinutím

Pro motor se speciálním vinutím:

M_A [Nm]	M_B [Nm]	L_{1m} [H]	R [Ω]	$L'_{\sigma 2}$ [H]
4	6	0,36338	2,20294	0,02164
4	8	0,36375	2,20267	0,02207
4	10	0,55208	1,86610	0,14423
6	8	0,36463	2,20700	0,02321
6	10	0,36463	1,21315	0,12902
8	10	-0,06155	0,15330	0,04739
F-mat správné		0,41096	2,11968	0,06459
F-fyz správné		0,36392	2,20420	0,02231

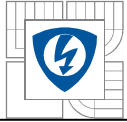
a)

Fyz.nesprávné	L_{1m} [H]	R [Ω]	$L'_{\sigma 2}$ [H]
	-0,06155	0,15330	0,04739

b)

Tab.7: Identifikované hodnoty metodou A+B pro motor se speciálním vinutím

a) všech hodnot, b) fyzikálně nerealizovatelných



Metodou B+A:

M_B [Nm]	M_A [Nm]	L_{1m} [H]	R [Ω]	$L'_{\sigma 2}$ [H]
4	6	0,36339	2,20794	0,02260
4	8	0,36374	2,20745	0,02292
4	10	0,57502	1,60264	0,03982
6	8	0,36476	2,20666	0,02318
6	10	-1,84191	1,25142	0,06494
8	10	-0,06032	0,18148	0,04390
F-mat správné		-0,03922	1,60960	0,03623
F-fyz správné		0,36396	2,20735	0,02290

a)

Fyz.nesprávné	L_{1m} [H]	R [Ω]	$L'_{\sigma 2}$ [H]
	-0,06032	0,18148	0,04390

b)

Tab.8: Identifikované hodnoty metodou B+A pro motor se speciálním vinutím

a) všech hodnot, b) fyzikálně nerealizovatelných

Srovnání jednotlivých metod A+B a B+A u motoru se speciálním vinutím :

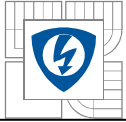
uvádím zde jen pro orientaci fyzicky nesprávné hodnoty v bodech A+B 4-12Nm

$$R_1 = 3,1\Omega, R_{Fe} = 768,52\Omega, L_{1m} = 0,342015H, L'_{\sigma 2} = -0,00469H, R = 2,20913\Omega$$

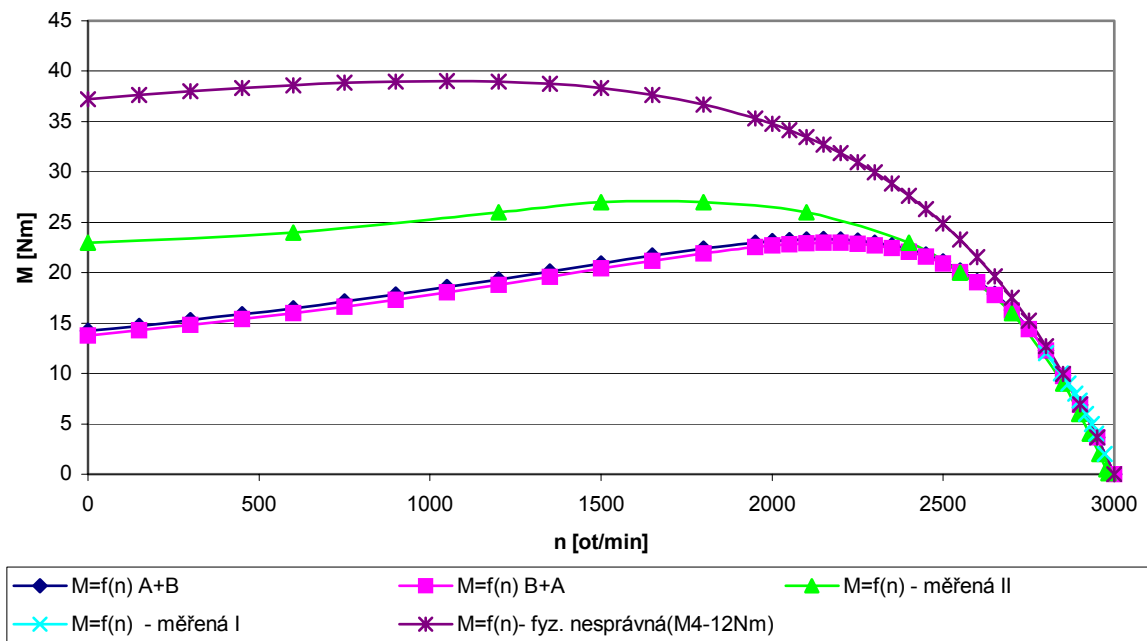
a fyzikálně vyhovující hodnoty v bodech B+A taky v bodech A+B 4-12Nm jen pro srovnání:

$$R_1 = 3,1\Omega, R_{Fe} = 768,52\Omega, L_{1m} = 0,3401H, L'_{\sigma 2} = 0,0193H, R = 2,367\Omega$$

Jak je zde uvedeno tak hodnoty parametrů náhradního zapojení Γ -článku identifikované metodou A+B jsou fyzikálně nerealizovatelné, nýbrž hodnoty identifikované metodou B+A jsou fyzikálně správné hodnoty pro námi hledané řešení Γ -článku.

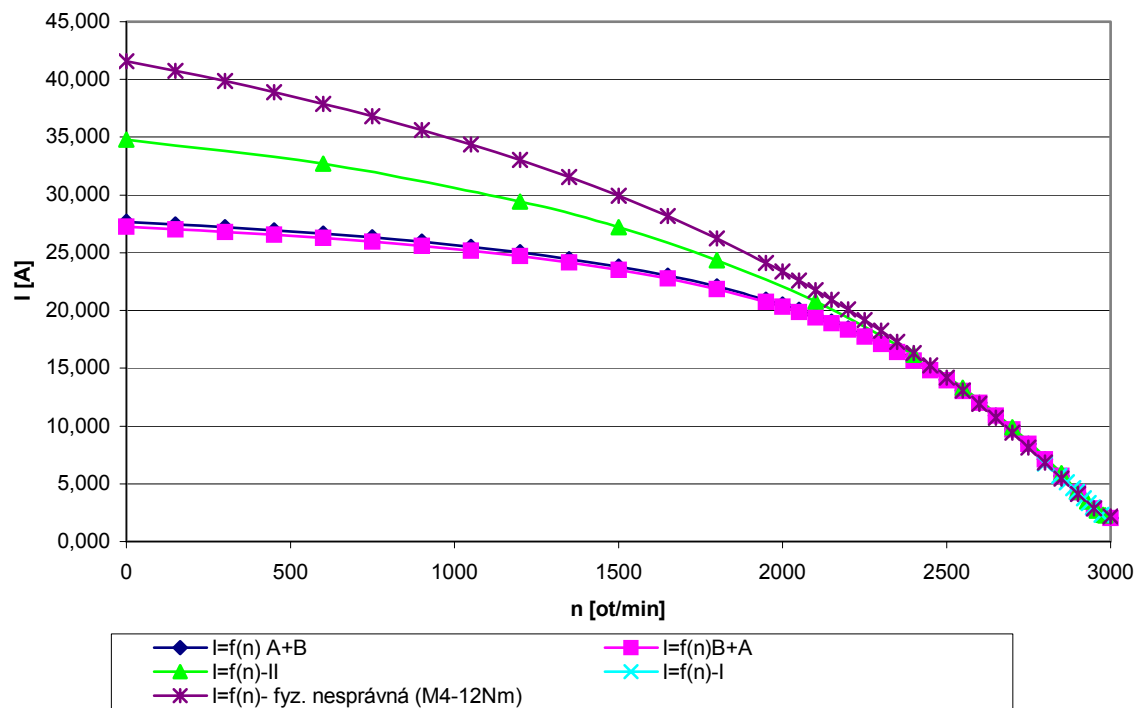


závislost momentu na otáčkách hřídele

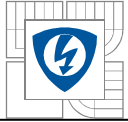


Obr.7: Průběhy momentu u motoru se speciálním vinutím

Závislost proudu stratoru na otáčkách hřídele



Obr.8: Průběhy proudu u motoru se speciálním vinutím



2.2.3 Přepočítání Γ -článku na inverzní T-článek:

Pro přepočítání vycházíme z hodnot identifikace metodou A+B neboť se více blíží mnou požadované charakteristice $M = f(n)$. Výpočet je proveden pro motor s klasickým vnutím.

Takže pokud vyjdeme z [3] můžeme pro Γ -článek psát :

$$L_{\sigma 1\Gamma} = 0 \quad (1.2.1)$$

$$L'_{\sigma 2\Gamma} = L_1 \frac{1-k^2}{k^2} \quad (1.2.2)$$

$$L_1 = L_{h1\Gamma} = L_{1m\Gamma} \quad (1.2.3)$$

$$R_{\Gamma} = R = R_Z \frac{L_1}{k^2 \cdot L_2} \quad (1.2.4),$$

$$K'_{U,21,0,\Gamma} = 1 \quad (1.2.5)$$

Vyjádříme-li z (1.2.2) činitel vazby k , dostaneme (odvození neuvádím):

$$k = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{L'_{\sigma 2\Gamma}}{L_{1m\Gamma}}}} = 0,9773 \quad (1.2.6)$$

Motor se speciálním vnutím: $k = 0,97069$

Takže za známé hodnoty můžeme prohlásit $L'_{\sigma 2}, L_{1m}, R_{\Gamma}, K'_{U,21,0}$

můžeme pro T-článek psát (indexují IG) :

$$L_{\sigma IG} = L_1 \cdot (1 - k^2) \quad (1.3.1)$$

$$L'_{\sigma 2IG} = 0 \quad (1.3.2)$$

$$L_{1mIG} = L_{h1IG} = k^2 \cdot L_1 \quad (1.3.3)$$

$$R_{IG} = R_Z \frac{k^2 \cdot L_1}{L_2} \quad (1.3.4)$$

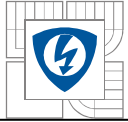
$$K'_{U,21,0,IG} = k^2 \quad (1.3.5)$$

Můžeme tedy odvodit pro T-článek:

Dosadíme-li (1.2.6) do (1.3.1) dostaneme výraz pro

$$L_{\sigma 1IG} = L_1 \cdot (1 - k^2) = \frac{L_{1m\Gamma} \cdot L'_{\sigma 2\Gamma}}{L_{1m\Gamma} + L'_{\sigma 2\Gamma}} = 0,017176 \text{ H} \quad (1.3.6)$$

motor se speciálním vnutím: $L_{\sigma 1IG} = 0,021021 \text{ H}$



Dosadíme-li (1.2.6) do (1.3.3) dostaneme výraz pro:

$$L_{1mG} = L_1 \cdot k^2 = \frac{L_{1m\Gamma}^2}{L_{1m\Gamma} + L'_{\sigma 2\Gamma}} = 0,3655 \text{ H} \quad (1.3.7)$$

motor se speciálním vinutím: $L_{1mG} = 0,3429 \text{ H}$

Vyjádříme-li ze vztahu (1.2.4) R_Z dosadíme do vztahu (1.3.4) :

$$R_{IG} = R_{\Gamma} \cdot k^4 = 2,2183\Omega \quad (1.3.8)$$

motor se speciálním vinutím: $R_{IG} = 1,9567\Omega$

2.2.4 Přepočítání Γ -článku na inverzní T-článek:

$$L'_{\sigma 2T} = L_{\sigma 1T} = L_1 \cdot (1 - k) \quad (1.4.1)$$

$$L_{1mT} = L_{h1T} = k \cdot L_1 \quad (1.4.2)$$

$$R_T = R_Z \frac{L_1}{L_2} \quad (1.4.3)$$

$$K'_{U,21,0,\gamma} = k \quad (1.4.4)$$

Z výrazu (1.4.1) vypočteme rozptylové indukčnosti příčné větve:

$$L'_{\sigma 2T} = L_{\sigma 1T} = L_1 \cdot (1 - k) = L_{1m\Gamma} \cdot (1 - k) = 0,008675 \text{ H}$$

motor se speciálním vinutím: $L'_{\sigma 2T} = L_{\sigma 1T} = 0,01067 \text{ H}$

Určení magnetizační indukčnosti ze vztahu(1.4.2):

$$L_{1mT} = L_{h1T} = k \cdot L_1 = k \cdot L_{1m} = 0,374 \text{ H}$$

motor se speciálním vinutím: $L_{1mT} = L_{h1T} = 0,35325 \text{ H}$

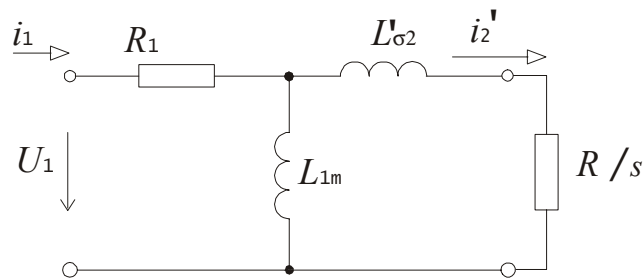
Dosadíme do vztahu (1.4.3) vyjádřený odpor R_Z ze vztahu (1.2.4), můžeme psát:

$$R_T = R_Z \frac{L_1}{L_2} = R_{\Gamma} \cdot k^2 = 2,3226\Omega$$

motor se speciálním vinutím: $R_T = 2,0767\Omega$

2.2.5 Pomocí metody blízkých bodů A a B se zanedbáním ztrát v železe:

Postup je obdobný, akorát s tím rozdílem, že celý výpočet zjednodušíme o člen představující ztráty v železe R_{Fe} . [6]



Obr. 9: Náhradní zapojení asynchronního motoru ve tvaru T-článku se zanedbáním ztrát v železe

Pro náhradní zapojení as.motoru podle obr. 5 zapíšeme vstupní impedanci ve tvaru

$$Z_{vst} = R + j \cdot \omega L \quad \text{tedy}$$

$$Z_{vst} = R_1 + \frac{j \cdot \omega L_{1m} \cdot \left(j \cdot \omega L'_{\sigma 2} + \frac{R}{s} \right)}{j \cdot \omega L_{1m} + j \cdot \omega L'_{\sigma 2} + \frac{R}{s}} \quad (2.1)$$

Prakticky změřenou vstupní impedanci vyjádříme obdobně ve tvaru:

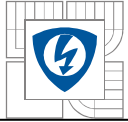
$$Z_{vst,A} = R_A + j \cdot \omega L_A \quad (2.2)$$

$$Z_{vst,B} = R_B + j \cdot \omega L_B \quad (2.3)$$

Rovnice pro výpočet parametrů asynchronního motoru získáme porovnáním rovnic (2.1) s (2.2) a rovnic (2.1) s (2.3), tedy:

$$Z_{vst,A} = Z_{vst}$$

$$R_A + j \cdot \omega L_A = R_1 + \frac{j \cdot \omega L_{1m} \cdot \left(j \cdot \omega L'_{\sigma 2} + \frac{R}{s_A} \right)}{j \cdot \omega L_{1m} + j \cdot \omega L'_{\sigma 2} + \frac{R}{s_A}} \quad (2.4)$$



$$Z_{vst,B} = Z_{vst}$$

$$R_B + j \cdot \omega L_B = R_1 + \frac{j \cdot \omega L_{1m} \cdot \left(j \cdot \omega L'_{\sigma 2} + \frac{R}{s_B} \right)}{j \cdot \omega L_{1m} + j \cdot \omega L'_{\sigma 2} + \frac{R}{s_B}} \quad (2.5)$$

Úpravou rovnice (2.4), tj. roznásobením a porovnáním koeficientů u imaginární jednotky j , získáme rovnice (2.6) a (2.7).

$$L_{1m} R_X + L'_{\sigma 2} R_X + L_A \frac{R}{s_A} = L_{1m} \frac{R}{s_A} \quad (2.6)$$

$$R_X \frac{R}{s_A} + \omega^2 L_{1m} L'_{\sigma 2} = \omega^2 L'_{\sigma 2} L_A + \omega^2 L'_{\sigma 2} L_A \quad (2.7)$$

kde $R_X = R_A - R_1$

Úpravou rovnice (2.5), tj. roznásobením a porovnáním koeficientů u imaginární jednotky j , získáme rovnice (2.8) a (2.9).

$$L_{1m} R_Y + L'_{\sigma 2} R_Y + L_B \frac{R}{s_B} = L_{1m} \frac{R}{s_B} \quad (2.8)$$

$$R_Y \frac{R}{s_B} + \omega^2 L_{1m} L'_{\sigma 2} = \omega^2 L_{1m} L_B + \omega^2 L'_{\sigma 2} L_B \quad (2.9)$$

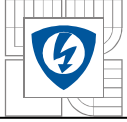
kde $R_Y = R_B - R_1$

Máme tedy soustavu čtyř rovnic (2.6), (2.7), (2.8) a (2.9) o třech neznámých - L_1, L_2, R . K výpočtu stačí pouze 3 rovnice. Celkem existují čtyři způsoby jak vybrat ze čtyř rovnic rovnice tři. V následující části uvádím příklad výpočtu hledaných parametrů as.motoru pro náhodně zvolené tři rovnice. Tento výpočet potom opakujeme i pro další kombinace vybrání tří rovnic ze čtyř. Vybereme si rovnice :

$$L_{1m} R_X + L'_{\sigma 2} R_X + L_A \frac{R}{s_A} = L_{1m} \frac{R}{s_A} \quad (2.6)$$

$$R_X \frac{R}{s_A} + \omega^2 L_{1m} L'_{\sigma 2} = \omega^2 L_{1m} L_A + \omega^2 L'_{\sigma 2} L_A \quad (2.7)$$

$$L_{1m} R_Y + L'_{\sigma 2} R_Y + L_B \frac{R}{s_B} = L_{1m} \frac{R}{s_B} \quad (2.8)$$



Z rovnice (2.7) vypočítáme parametr R:

$$R = L_{1m}K_1s_A + L'_{\sigma 2}K_1s_A - \omega^2L_{1m}L'_{\sigma 2}G_Xs_A \quad (2.10)$$

kde
$$G_X = \frac{1}{R_X}$$

$$K_1 = \omega^2L_A G_X$$

Rovnici (2.10) dosadíme do rovnice (2.6) – dostaneme rovnici (2.11). Rovnici (2.10) dosadíme do rovnice (2.8) – dostaneme rovnici (2.12). Rovnice (2.11) a (2.12) tvoří soustavu dvou rovnic o dvou neznámých.

$$L_{1m}K_2 + L'_{\sigma 2}K_2 + \omega^2L_{1m}^2L'_{\sigma 2}G_X = \omega^2L_{1m}L'_{\sigma 2}L_A G_X + L_{1m}^2K_1 + L_{1m}L'_{\sigma 2}K_1 \quad (2.11)$$

$$L_{1m}K_3 + L'_{\sigma 2}K_3 + \omega^2L_{1m}^2L'_{\sigma 2}G_X \frac{s_A}{s_B} = L_{1m}^2K_1 \frac{s_A}{s_B} + L_{1m}L'_{\sigma 2}K_1 \frac{s_A}{s_B} + \omega^2L_{1m}L'_{\sigma 2}L_B G_X \frac{s_A}{s_B} \quad (2.12)$$

kde $K_2 = R_X + L_A K_1$

$$K_3 = R_Y + L_B K_1 \frac{s_A}{s_B}$$

Z rovnice (2.11) si vypočítáme parametr $L'_{\sigma 2}$:

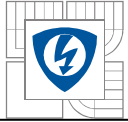
$$L'_{\sigma 2} = \frac{L_{1m}^2K_1 - L_{1m}K_2}{\omega^2L_{1m}^2G_X - \omega^2L_{1m}L_A G_X - L_{1m}K_1 + K_2} \quad (2.13)$$

Rovnici (2.13) dosadíme do rovnice (2.12) a získáme tak poslední hledaný parametr nebo rovnici ve které bude jedna neznámá – poslední hledaný parametr:

$$L_{1m}K_4 + K_5 = 0 \Rightarrow L_{1m} = -\frac{K_5}{K_4} \quad (2.14)$$

kde
$$K_4 = K_3\omega^2G_X - K_2\omega^2G_X \frac{s_A}{s_B} + K_1\omega^2L_A G_X \frac{s_A}{s_B} - K_1\omega^2L_B G_X \frac{s_A}{s_B}$$

$$K_5 = K_2\omega^2L_B G_X \frac{s_A}{s_B} - K_3\omega^2L_A G_X$$



Možnost č.1

Vybrané rovnice:

$$L_{1m}R_X + L'_{\sigma 2}R_X + L_A \frac{R}{s_A} = L_{1m} \frac{R}{s_A} \quad (2.6)$$

$$R_X \frac{R}{s_A} + \omega^2 L_{1m} L'_{\sigma 2} = \omega^2 L_{1m} L_A + \omega^2 L'_{\sigma 2} L_A \quad (2.7)$$

$$L_{1m}R_Y + L'_{\sigma 2}R_Y + L_B \frac{R}{s_B} = L_{1m} \frac{R}{s_B} \quad (2.8)$$

Výpočet parametru K:

$$G_X = \frac{1}{R_X}$$

$$K_1 = \omega^2 L_A G_X$$

$$K_2 = R_X + L_A K_1$$

$$K_3 = R_Y + L_B K_1 \frac{s_A}{s_B}$$

$$K_4 = K_3 \omega^2 G_X - K_2 \omega^2 G_X \frac{s_A}{s_B} + K_1 \omega^2 L_A G_X \frac{s_A}{s_B} - K_1 \omega^2 L_B G_X \frac{s_A}{s_B}$$

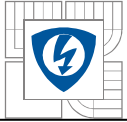
$$K_5 = K_2 \omega^2 L_B G_X \frac{s_A}{s_B} - K_3 \omega^2 L_A G_X = \omega^2 G_X \left[K_2 L_B \frac{s_A}{s_B} - K_3 L_A \right]$$

Vypočtené parametry:

$$L_{1m} = -\frac{K_5}{K_4} \quad (2.1.1)$$

$$L_2 = \frac{L_{1m}^2 K_1 - L_{1m} K_2}{\omega^2 L_{1m}^2 G_X - \omega^2 L_{1m} L_A G_X - L_{1m} K_1 + K_2} = \frac{L_{1m}^2 K_1 - L_{1m} K_2}{\omega^2 L_{1m} G_X (L_{1m} - L_A) - L_{1m} K_1 + K_2} \quad (2.1.2)$$

$$R = L_{1m} K_1 s_A + L'_{\sigma 2} K_1 s_A - \omega^2 L_{1m} L'_{\sigma 2} G_X s_A \quad (2.1.3)$$



Možnost č. 2

Vybrané rovnice:

$$L_{1m}R_X + L'_{\sigma 2}R_X + L_A \frac{R}{s_A} = L_{1m} \frac{R}{s_A} \quad (2.6)$$

$$R_X \frac{R}{s_A} + \omega^2 L_{1m} L'_{\sigma 2} = \omega^2 L_{1m} L_A + \omega^2 L'_{\sigma 2} L_A \quad (2.7)$$

$$R_Y \frac{R}{s_B} + \omega^2 L_{1m} L'_{\sigma 2} = \omega^2 L_{1m} L_B + \omega^2 L'_{\sigma 2} L_B \quad (2.9)$$

Výpočet parametru K:

$$G_X = \frac{1}{R_X}$$

$$K_1 = \omega^2 L_A G_X$$

$$K_2 = R_X + L_A K_1$$

$$K_3 = K_1 R_Y \frac{s_A}{s_B} - \omega^2 L_B$$

$$K_4 = \omega^2 R_Y G_X \frac{s_A}{s_B} - \omega^2$$

$$K_5 = K_3 \omega^2 G_X - K_1 K_4$$

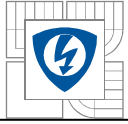
$$K_6 = K_2 K_4 - K_3 \omega^2 L_A G_X$$

Vypočtené parametry:

$$L_{1m} = -\frac{K_6}{K_5} \quad (2.2.1)$$

$$L'_{\sigma 2} = \frac{L_{1m}^2 K_1 - L_{1m} K_2}{\omega^2 L_{1m}^2 G_X - \omega^2 L_{1m} L_A G_X - L_{1m} K_1 + K_2} \quad (2.2.2)$$

$$R = L_{1m} K_1 s_A + L'_{\sigma 2} K_1 s_A - \omega^2 L_{1m} L'_{\sigma 2} G_X s_A \quad (2.2.3)$$



Možnost č. 3

Vybrané rovnice:

$$L_{1m}R_X + L'_{\sigma 2}R_X + L_A \frac{R}{S_A} = L_{1m} \frac{R}{S_A} \quad (2.6)$$

$$L_{1m}R_Y + L'_{\sigma 2}R_Y + L_B \frac{R}{S_B} = L_{1m} \frac{R}{S_B} \quad (2.8)$$

$$R_Y \frac{R}{S_B} + \omega^2 L_{1m} L'_{\sigma 2} = \omega^2 L_{1m} L_B + \omega^2 L'_{\sigma 2} L_B \quad (2.9)$$

Výpočet parametru K:

$$G_Y = \frac{1}{R_Y}$$

$$K_1 = \omega^2 L_B G_Y$$

$$K_2 = R_X + L_A K_1 \frac{S_B}{S_A}$$

$$K_3 = \omega^2 L_A G_Y \frac{S_B}{S_A} + K_1 \frac{S_B}{S_A}$$

$$K_4 = R_Y + L_B K_1$$

$$K_5 = \omega^2 L_B G_Y + K_1$$

$$K_6 = K_2 \omega^2 G_Y - K_4 \omega^2 G_Y \frac{S_B}{S_A} + K_1 K_5 \frac{S_B}{S_A} - K_1 K_3$$

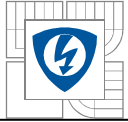
$$K_7 = K_1 K_2 - K_2 K_5 - K_1 K_4 \frac{S_B}{S_A} + K_3 K_4$$

Vypočtené parametry:

$$L_{1m} = -\frac{K_7}{K_6} \quad (2.3.1)$$

$$L'_{\sigma 2} = \frac{L_{1m}^2 K_1 - L_{1m} K_4}{\omega^2 L_{1m}^2 G_Y - L_{1m} K_5 + K_4} \quad (2.3.2)$$

$$R = L_{1m} K_1 S_B + L'_{\sigma 2} K_1 S_B - \omega^2 L_{1m} L'_{\sigma 2} G_Y S_B \quad (2.3.3)$$



Možnost č. 4

Vybrané rovnice:

$$R_X \frac{R}{s_A} + \omega^2 L_{1m} L'_{\sigma 2} = \omega^2 L_{1m} L_A + \omega^2 L'_{\sigma 2} L_A \quad (2.7)$$

$$L_{1m} R_Y + L'_{\sigma 2} R_Y + L_B \frac{R}{s_B} = L_{1m} \frac{R}{s_B} \quad (2.8)$$

$$R_Y \frac{R}{s_B} + \omega^2 L_{1m} L'_{\sigma 2} = \omega^2 L_{1m} L_B + \omega^2 L'_{\sigma 2} L_B \quad (2.9)$$

Výpočet parametru K:

$$G_X = \frac{1}{R_X}$$

$$K_1 = \omega^2 L_A G_X$$

$$K_2 = \omega^2 L_B G_X \frac{s_A}{s_B} + K_1 \frac{s_A}{s_B}$$

$$K_3 = R_Y + L_B K_1 \frac{s_A}{s_B}$$

$$K_4 = K_1 R_Y \frac{s_A}{s_B} - \omega^2 L_B$$

$$K_5 = \omega^2 R_Y G_X \frac{s_A}{s_B} - \omega^2$$

$$K_6 = K_4 \omega^2 G_X \frac{s_A}{s_B} - K_1 K_5 \frac{s_A}{s_B}$$

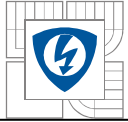
$$K_7 = K_3 K_5 + K_1 K_4 \frac{s_A}{s_B} - K_2 K_4$$

Vypočtené parametry:

$$L_{1m} = -\frac{K_7}{K_6} \quad (2.4.1)$$

$$L'_{\sigma 2} = \frac{L_{1m} K_4}{L_{1m} K_5 - K_4} \quad (2.4.2)$$

$$R = L_{1m} K_1 s_A + L'_{\sigma 2} K_1 s_A - \omega^2 L_{1m} L'_{\sigma 2} G_X s_A \quad (2.4.3)$$



Při výpočtu zanedbáváme ztráty v železe.

Pro motor s klasickým vinutím můžeme psát:

$$P = 2,2 \text{ kW} \qquad U = 400 \text{ V}$$

$$I = 4,5 \text{ A} \qquad f = 50 \text{ Hz}$$

$$\cos \varphi = 0,88 \qquad \eta = 80,9\%$$

$$n = 2865 \text{ min}^{-1} \qquad 2p = 2$$

Identifikaci provedeme ve dvou bodech A a B (jedná se o výpočet metodou A+B) pro:

$$M_A = 8 \text{ Nm} \qquad M_B = 10 \text{ Nm}$$

$$U_{SA} = 400 \text{ V} \qquad U_{SB} = 400 \text{ V}$$

$$I_{SA} = 5,533 \text{ A} \qquad I_{SB} = 6,646 \text{ A}$$

$$\cos \varphi_A = 0,904 \qquad \cos \varphi_B = 0,925$$

$$n_A = 2865 \text{ min}^{-1} \qquad n_B = 2804 \text{ min}^{-1}$$

$$s_A = 0,049 \qquad s_B = 0,06533$$

$R_1 = 2,84\Omega$ - měřeno za studena

Určíme fázové hodnoty napětí a proudu v těchto bodech A a B:

$$U_{fA} = 230,9401 \text{ V}, U_{fB} = 230,9401 \text{ V}$$

$$I_{fA} = 5,433 \text{ A}, I_{fB} = 6,646 \text{ A}$$

Výpočet vstupní impedance:

$$Z_{VST} = |Z| \cos \varphi + j|Z| \sin \varphi = \frac{U}{I} \cos \varphi + j \frac{U}{I} \sin \varphi \qquad (2.5.1)$$

Při zápisu vstupní impedance ve tvaru $Z_{VST} = R + j\omega L$ tedy platí:

$$R = \frac{U}{I} \cos \varphi \qquad (2.5.2)$$

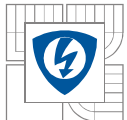
$$\omega L = \frac{U}{I} \sin \varphi \Rightarrow L = \frac{U \sin \varphi}{\omega I} \qquad (2.5.3)$$

Dosazením hodnot napětí a proudu do vztahu (2.5.1), popřípadě (2.5.2) a (2.5.3)

v bodech A a B obdržíme hodnoty pro výstupní impedance v bodech A a B:

$$R_A = 38,426\Omega, L_A = 0,057847 \text{ H}, R_X = R_A - R_1 = 35,58626\Omega$$

$$R_B = 32,142\Omega, L_B = 0,042028 \text{ H}, R_Y = R_B - R_1 = 29,30258\Omega$$



Nyní můžu provést výpočet parametrů náhradního zapojení :

- dosazení do jednotlivých vztahů pro dané možnosti dostaneme hodnoty konstant a ty potom dosadíme do vztahů (2.1.1), (2.1.2) a (2.1.3) a dalších pro dané možnosti získáme námi požadované parametry náhradního zapojení:

1.možnost		2.možnost		3.možnost		4.možnost	
L_{1m} [H]	0,219433	L_{1m} [H]	0,368044	L_{1m} [H]	0,219433	L_{1m} [H]	0,382593
$L'_{\sigma 2}$ [H]	-0,019632	$L'_{\sigma 2}$ [H]	0,017255	$L'_{\sigma 2}$ [H]	-0,006795	$L'_{\sigma 2}$ [H]	0,017224
R [Ω]	2,156117	R [Ω]	2,1659	R [Ω]	2,294645	R [Ω]	2,247512

Tab.9: Výpočet parametrů náhradního zapojení u motoru s klasickým vinutím v bodech

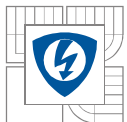
$$M_A = 8Nm \text{ a } M_B = 10Nm \text{ pro všechny čtyři možnosti}$$

Výpočtem v různých kombinacích momentu M_A a M_B jsem obdržel tabulku hodnot a uvádím již jen fyzikálně realizovatelné provedení tj. možnost 2. a možnost 4. :

Výsledky - výběr rovnic 2.možnost				Výsledky - výběr rovnic 4.možnost			
$M_A - M_B$ Nm	L_{1m} [H]	$L'_{\sigma 2}$ [H]	R [Ω]	$M_A - M_B$ Nm	L_{1m} [H]	$L'_{\sigma 2}$ [H]	R [Ω]
4 - 6	0,3714	0,01266	2,0687	4 - 6	0,3773	0,01265	2,1005
4 - 8	0,3951	0,02289	2,0569	4 - 8	0,4122	0,02283	2,1407
4 - 10	0,3882	0,02008	2,0608	4 - 10	0,4213	0,02	2,2274
6 - 8	0,4586	0,02836	2,0603	6 - 8	0,47	0,02832	2,1082
6 - 10	0,4193	0,02163	2,0814	6 - 10	0,4475	0,02156	2,2146
8 - 10	0,368	0,01725	2,1659	8 - 10	0,3825	0,01722	2,2475

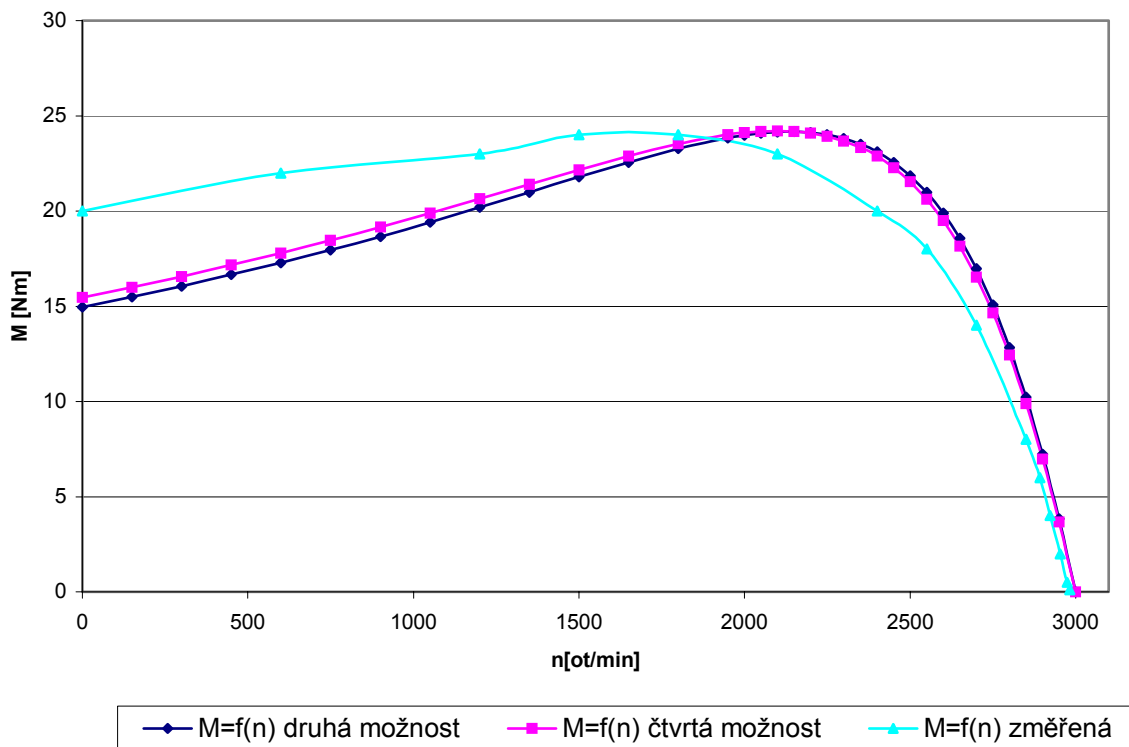
Φ	0,4001	0,020478	2,082333	Φ	0,418467	0,02043	2,17315
--------	--------	----------	----------	--------	----------	---------	---------

Tab.10: Výpočet parametrů náhradního zapojení u motoru s klasickým vinutím v různých bodech pro možnost dva a čtyři



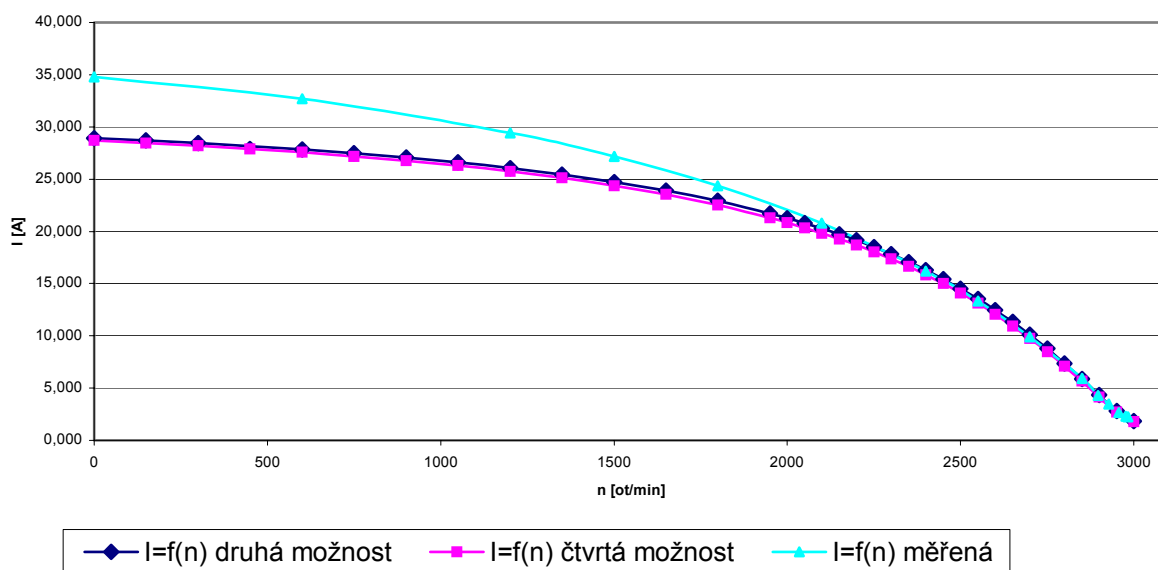
Průběhy momentu a proudu statoru u motoru s klasickým vinutím pro druhou a čtvrtou možnost:

Závislost momentu na otáčkách n u motoru AOM090L02-016

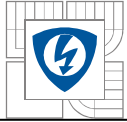


Obr.10: Průběhy momentu u motoru s klasickým vinutím pro druhou a čtvrtou možnost

Závislost statorového proudu na otáčkách n u motoru AOM090L02-016



Obr.11: Průběhy proudu statoru u motoru s klasickým vinutím pro druhou a čtvrtou možnost



Tento postup výpočtu aplikuji na motor se speciálním vinutím:

$$P = 2,2 \text{ kW} \qquad U = 400 \text{ V}$$

$$I = 4,5 \text{ A} \qquad f = 50 \text{ Hz}$$

$$\cos \varphi = 0,88 \qquad \eta = 80,9\%$$

$$n = 2865 \text{ min}^{-1} \qquad 2p = 2$$

Identifikaci provedeme ve dvou bodech A a B (jedná se o výpočet metodou A+B) pro momenty:

$$M_A = 4 \text{ Nm} \qquad M_B = 8 \text{ Nm}$$

$$U_{SA} = 400 \text{ V} \qquad U_{SB} = 400 \text{ V}$$

$$I_{SA} = 3,45 \text{ A} \qquad I_{SB} = 5,266 \text{ A}$$

$$\cos \varphi_A = 0,806 \qquad \cos \varphi_B = 0,908$$

$$n_A = 2928 \text{ min}^{-1} \qquad n_B = 2863 \text{ min}^{-1}$$

$$s_A = 0,024 \qquad s_B = 0,045667$$

$$R_1 = 2,94 \Omega - \text{měřeno za studena}$$

Určíme fázové hodnoty napětí a proudu v těchto bodech A a B:

$$U_{fA} = 230,9401 \text{ V}, U_{fB} = 230,9401 \text{ V}$$

$$I_{fA} = 3,45 \text{ A}, I_{fB} = 5,266 \text{ A}$$

Dosazením hodnot napětí a proudu do vztahu (2.5.1), popřípadě (2.5.2) a (2.5.3)

v bodech A a B obdržíme hodnoty pro výstupní impedance v bodech A a B:

$$R_A = 53,952964 \Omega, L_A = 0,1261218 \text{ H}, R_X = R_A - R_1 = 51,012964 \Omega$$

$$R_B = 39,82028 \Omega, L_B = 0,058486 \text{ H}, R_Y = R_B - R_1 = 36,88028 \Omega$$

Postup výpočtu parametrů náhradního zapojení je stejný jako pro motor s klasickým vinutím

1.možnost	2.možnost	3.možnost	4.možnost				
$L_{1m} [\text{H}]$	0,3061813	$L_{1m} [\text{H}]$	0,367841	$L_{1m} [\text{H}]$	0,306181	$L_{1m} [\text{H}]$	0,391003
$L'_{\sigma 2} [\text{H}]$	-0,01905	$L'_{\sigma 2} [\text{H}]$	0,017868	$L'_{\sigma 2} [\text{H}]$	0,002875	$L'_{\sigma 2} [\text{H}]$	0,017817
$R [\Omega]$	1,9523469	$R [\Omega]$	1,953623	$R [\Omega]$	2,101421	$R [\Omega]$	2,070676

Tab.11: Výpočet parametrů náhradního zapojení u motoru se speciálním vinutím v bodech

$$M_A = 8 \text{ Nm} \text{ a } M_B = 10 \text{ Nm} \text{ pro všechny čtyři možnosti}$$

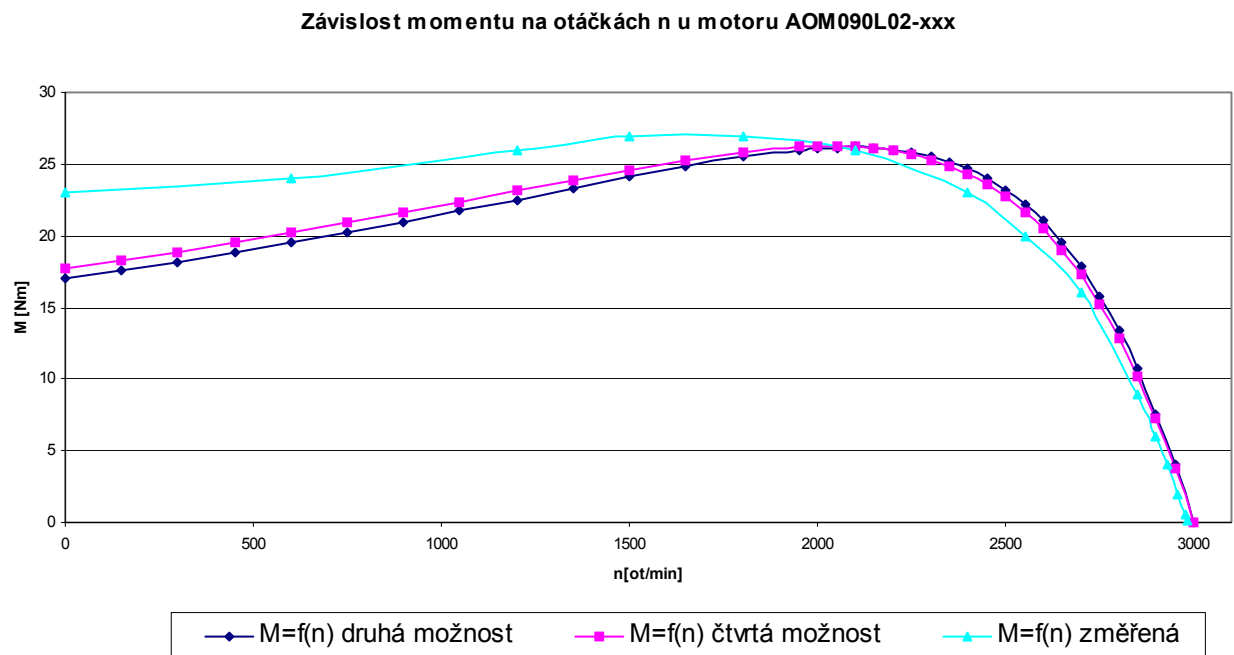
Výpočtem v různých kombinacích momentu M_A a M_B jsem obdržel tabulku hodnot a uvádím již jen fyzikálně realizovatelné provedení tj. možnost 2. a možnost 4. :

Výsledky - výběr rovnic 2.možnost				Výsledky - výběr rovnic 4.možnost			
$M_A - M_B$ Nm	L_{1m} [H]	$L'_{\sigma 2}$ [H]	R [Ω]	$M_A - M_B$ Nm	L_{1m} [H]	$L'_{\sigma 2}$ [H]	R [Ω]
4 - 6	0,3673	0,01757	1,9539	4 - 6	0,3813	0,01754	2,0251
4 - 8	0,3678	0,01786	1,9536	4 - 8	0,391	0,01781	2,0706
4 - 10	0,3687	0,01833	1,9531	4 - 10	0,4105	0,01824	2,1634
6 - 8	0,3833	0,01802	2,0241	6 - 8	0,3924	0,01801	2,0699
6 - 10	0,3853	0,01848	2,0232	6 - 10	0,413	0,01842	2,1622
8 - 10	0,3979	0,01873	2,0673	8 - 10	0,4167	0,01869	2,1605

Φ	0,3783833	0,018165	1,995867	Φ	0,400817	0,018118	2,108617
--------	------------------	-----------------	-----------------	--------	-----------------	-----------------	-----------------

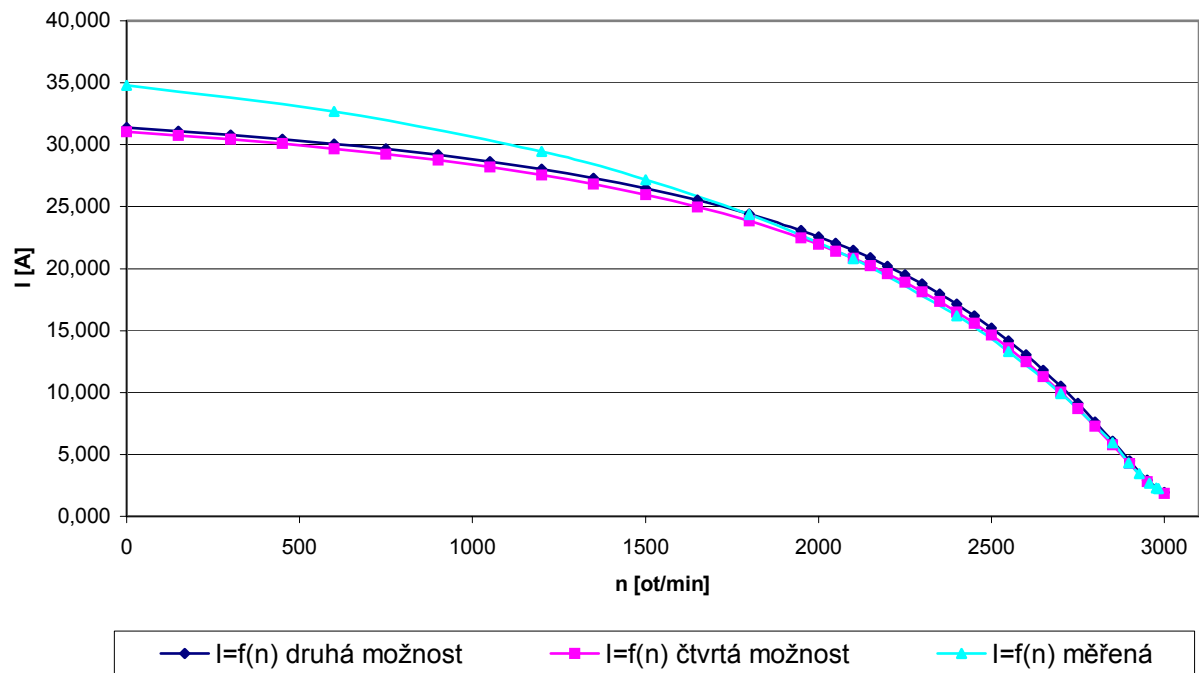
Tab.12: Výpočet parametrů náhradního zapojení u motoru se speciálním vinutím v různých bodech pro možnost dva a čtyři

Průběhy momentu a proudu statoru u motoru s klasickým vinutím pro druhou a čtvrtou možnost:



Obr.12: Průběhy momentu u motoru se speciálním vinutím pro druhou a čtvrtou možnost

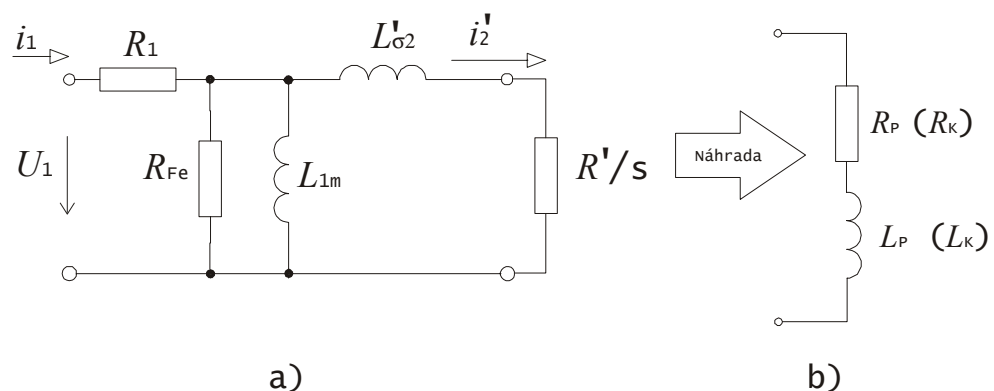
Závislost statorového proudu na otáčkách n u motoru AOM090L02-xxx



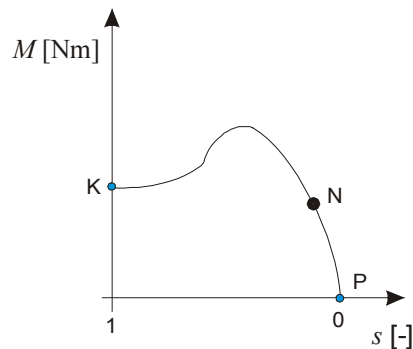
Obr.13: Průběhy proudu statorem u motoru se speciálním vinutím pro druhou a čtvrtou možnost

2.3 Identifikace klasickou metodou naprázdno a nakrátko:

Metoda vychází z metody bodů A a B, ale jen s tím rozdílem, že nyní se nám body posunou po momentové charakteristice do bodů se skluzem $s = 0$ a $s = 1$ Obr.6. Opět se snažíme najít hodnoty $R_1, R_{Fe}, L'_{\sigma 2}, L_{1m}, R$, aby výstupní impedanci stroje $R_P, L_P; (R_K, L_K)$ na Obr.14a byla totožná s experimentálně určenou impedancí na Obr.14b.



Obr. 14: Vstupní impedance náhradního zapojení a) nahrazená změřenou impedancí b).



Obr. 15: Názorná představa řešení na momentové charakteristice klasickou metodou naprázdno a nakrátko

Výhoda metody je v tom, že nemusíme nic složitě počítat jak u předešlé metody A a B, ale jenom řešíme úplně jednoduchý obvod. Zvláště pak při řešení naprázdno, kdy prohlásíme odpor představující mechanické zatížení za nekonečný tzn. $s = 0 \Rightarrow R/s = \infty$. Tímto krokem odstraníme ze schématu pravou stranu příčné větve viz. 2.3.1.

Při řešení nakrátko můžeme celou příčnou větev s odporem R_{Fe} a indukčností L_{1m} zanedbat, neboť proud I_0 , který teče příčnou větví, je zanedbatelný proti velikosti proudu zkratového, jenž teče podélnou větví. Tudíž se dopouštíme velmi malé chyby.

U měření nakrátko musíme učinit určitá opatření, aby nedošlo k poškození motoru. Jsou to:

- 1) Měření při sníženém svorkovém napětí, kdy teče statorem proud $I_K = I_N$. U takto sníženého napětí je sycení indukčnosti L_{1m} nižší.
- 2) Při zabrzděném rotoru je rotorový kmitočet roven statorovému kmitočtu $f_2 = f_1$
- 3) Při změně měření tzn. přecházíme-li z měření naprázdno na měření nakrátko nebo naopak. dochází k změně zatížení, tudíž i k změně odporu R vlivem teploty. Tento fakt kompenzujeme zaběhnutím motoru na ustalenou teplotu.

2.3.1 Identifikace vycházející z měření nakrátko:

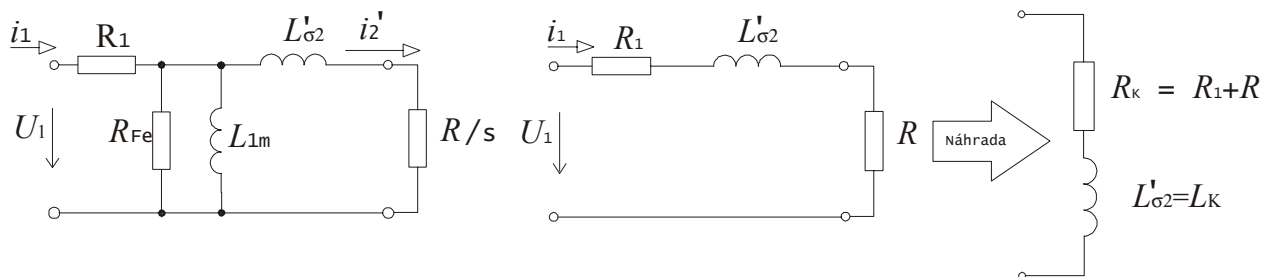
Měřené hodnoty nakrátko pro motor s klasickým vinutím - výpočet uveden pro označený řádek, není průměrem:

U [V]	I_1 [d]	I_2 [d]	I_3 [d]	k	I [A]	P [W]	M [Nm]	S [VA]	$\cos \varphi$	φ [rad]	Q [VAr]
40	2,65	2,67	2,69	1,00	2,67	120	0	184,98	0,6487	0,8649	140,78
80	2,65	2,67	2,67	2,00	5,327	500	0	738,08	0,6774	0,8265	542,93
120	4,15	4,17	4,17	2,00	8,327	1145	0,2	1730,67	0,6616	0,8479	1297,76
160	2,93	2,95	2,96	4,00	11,787	2240	1	3266,42	0,6858	0,8151	2377,37
200	3,75	3,76	3,71	4,00	14,960	3720	3,1	5182,30	0,7178	0,7701	3608,02
240	4,55	4,57	4,59	4,00	18,280	5760	5,5	7598,85	0,7580	0,7105	4956,31
280	2,11	2,09	2,05	10,00	20,833	7800	8	10103,63	0,7720	0,6888	6422,10
320	2,34	2,29	2,35	10,00	23,267	10200	10,8	12895,70	0,7910	0,6584	7890,44
360	2,61	2,58	2,51	10,00	25,667	13050	14,2	16004,15	0,8154	0,6174	9264,46
400	2,65	2,67	2,62	10,00	26,467	15900	16,9	18336,64	0,8671	0,5214	9133,59

Tab.13: Hodnoty z měření nakrátko pro motor s klasickým vinutím

Motor s klasickým vinutím – řešení pomocí Γ -článku:

Hodnoty od $\cos\varphi=0,77$ a výše neuvažují, protože docházelo k velkému přetížení stroje. Jelikož je skluz s roven $s = 1$, a proudy tekoucí v příčné větvi jsou zanedbatelné, můžeme schéma překreslit takto:



Obr.16: Řešení Γ -článku postupem v měření nakrátko

Takže ze schématu je patrné, že:

$$R_K = \frac{P_K}{3 \cdot I_K^2} = 5,505 \Omega \quad (3.1)$$

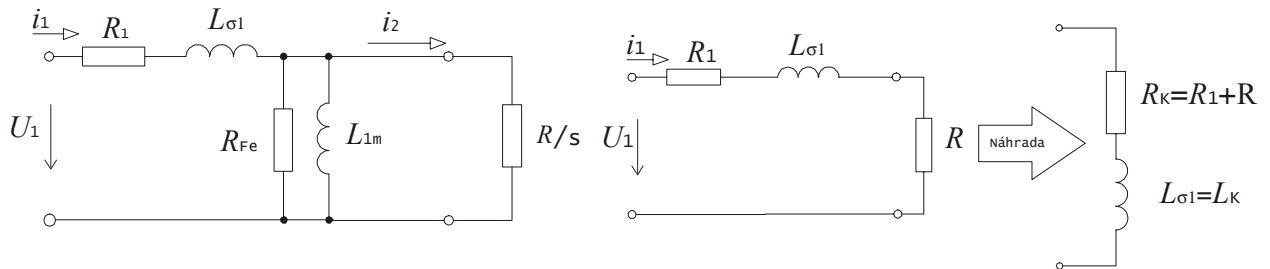
$$\omega L'_{\sigma 2\Gamma} = \omega L_K = \frac{Q_K}{3 \cdot I_K^2} = 6,239 \Omega \Rightarrow L'_{\sigma 2\Gamma} = 0,01986 \text{ H} \quad (3.2)$$

$$R_\Gamma = R_K - R_1 = 5,505 - 3,2 = 2,305 \Omega \quad (3.3)$$

Jelikož hodnoty R_K a ωL_K jsou pro všechny tři články stejné, mohou je rovnou použít pro T-článek a T-článek.

Řešení pomocí T-článku:

Postup je zcela stejný jak u π -článku viz. Obr.17, proto můžeme hodnoty opsat:



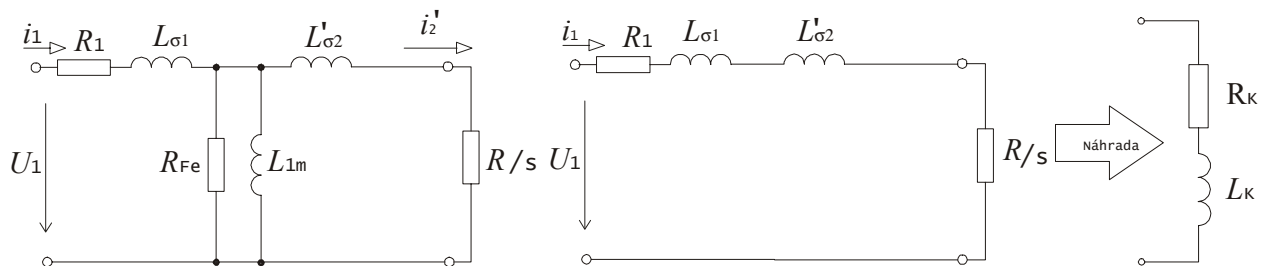
Obr.17: Řešení T-článku postupem v měření nakrátko

$$R_K = \frac{P_K}{3 \cdot I_K^2} = 5,505 \Omega$$

$$\omega L_{\sigma 1G} = \omega L_K = \frac{Q_K}{3 \cdot I_K^2} = 6,239 \Omega \Rightarrow L_{\sigma 1G} = 0,01986 \text{ H}$$

Řešení pomocí T-článku:

Schéma:

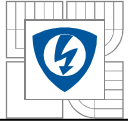


Obr.18: Řešení T-článku postupem v měření nakrátko

Při bližším zkoumání obrázku zjistíme, že opět je schéma velmi podobné předešlým dvěma schémátům, jen s tím rozdílem, že zde máme dvě rozptylové indukčnosti $L_{\sigma 1}$, $L'_{\sigma 2}$ místo jedné. Takže můžeme spát:

$$R_K = \frac{P_K}{3 \cdot I_K^2} = 5,505 \Omega$$

$$\omega L_K = \frac{Q_K}{3 \cdot I_K^2} = 6,239 \Omega \Rightarrow L_K = 0,01986 \text{ H} \Rightarrow L_{\sigma 1T} = L'_{\sigma 2T} = \frac{L_K}{2} = 0,00993 \text{ H}$$



Vypočtené hodnoty z měření nakrátko pro motor s klasickým vinutím:

R_k [Ω]	ωL_k [Ω]	L_k [H]	R [Ω]	$L'_{\sigma 2}$ [H]	$L_{\sigma 1}$ [H]	$L_{\sigma 1T}$ [H]	$L'_{\sigma 2T}$ [H]
5,611	6,583	0,02095	2,411	0,02095	0,02095	0,01048	0,01048
5,874	6,378	0,02030	2,674	0,02030	0,02030	0,01015	0,01015
5,505	6,239	0,01986	2,305	0,01986	0,01986	0,00993	0,00993
5,375	5,704	0,01816	2,175	0,01816	0,01816	0,00908	0,00908
5,541	5,374	0,01711	2,341	0,01711	0,01711	0,00855	0,00855
5,746	4,944	0,01574	2,546	0,01574	0,01574	0,00787	0,00787
5,990	4,932	0,01570	2,790	0,01570	0,01570	0,00785	0,00785
6,281	4,859	Φ	2,463	0,01826	0,01826	0,00913	0,00913
6,603	4,688	x	x	x	x	x	x
7,566	4,346	x	x	gama	inv.gama	T	x

Tab.14: Tabulka identifikovaných parametrů podélné větve pro Γ -článek, I -článek a T -článek pro motor se speciálním vinutím

Hodnoty pro speciální motor při měření nakrátko:

U [V]	I_1 [d]	I_2 [d]	I_3 [d]	k	I [A]	P [W]	M [Nm]	S [VA]	$\cos \varphi$	φ [rad]	Q [VAr]
40	2,81	2,83	2,82	1,00	2,82	125	0	195,3753	0,6398	0,8766	150,155
80	2,907	2,99	3,01	2,00	5,94	565	0	822,7934	0,6867	0,8139	598,1338
120	4,57	4,61	4,55	2,00	9,15	1335	0,2	1902,485	0,7017	0,7930	1355,442
160	3,11	3,15	3,12	4,00	12,51	2520	1,8	3465,949	0,7271	0,7567	2379,581
200	3,91	3,92	3,87	4,00	15,60	4140	3,8	5403,999	0,7661	0,6980	3473,269
240	4,61	4,62	4,55	4,00	18,37	6120	6,1	7637,651	0,8013	0,6413	4569,389
280	2,11	2,13	2,09	10,00	21,10	8500	9	10232,96	0,8306	0,5905	5697,665
320	2,41	2,42	2,39	10,00	24,07	11175	12	13339,1	0,8378	0,5776	7283,61
360	2,55	2,53	2,51	10,00	25,30	13350	14,8	15775,52	0,8462	0,5619	8405,028
400	2,71	2,68	2,65	10,00	26,80	16125	17	18567,58	0,8684	0,5187	9205,41

Tab.15: Hodnoty z měření nakrátko pro motor se speciálním vinutím

Hodnoty od $U = 240V$ neuvažují z důvodu přetížení motoru

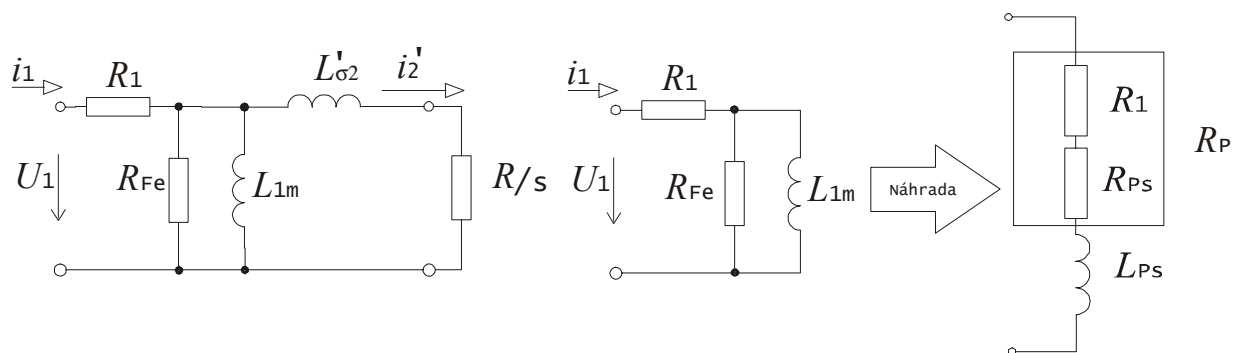
Vypočtené hodnoty z měření nakrátko pro motor se speciálním vinutím:

R_k [Ω]	ωL_k [Ω]	L_k [H]	R [Ω]	$L'_{\sigma 2}$ [H]	$L_{\sigma 1}$ [H]	$L_{\sigma 1T}$ [H]	$L'_{\sigma 2T}$ [H]
5,240	6,294	0,02003	2,140	0,02003	0,02003	0,01002	0,01002
5,341	5,655	0,01800	2,241	0,01800	0,01800	0,00900	0,00900
5,311	5,393	0,01717	2,211	0,01717	0,01717	0,00858	0,00858
5,370	5,071	0,01614	2,270	0,01614	0,01614	0,00807	0,00807
5,671	4,757	0,01514	2,571	0,01514	0,01514	0,00757	0,00757
6,043	4,512	0,01436	2,943	0,01436	0,01436	0,00718	0,00718
6,364	4,266	Φ	2,396	0,01681	0,01681	0,00840	0,00840
6,431	4,192		x	x	x	x	x
6,952	4,377		x	x	x	x	x
7,484	4,272		x	x	x	x	x

Tab.16: Tabulka identifikovaných parametrů podélné větve pro Γ -článek, T -článek a T -článek pro motor se speciálním vinutím

2.3.2 Identifikace vycházející z měření naprázdno:

Řešení pomocí Γ -článek z hodnot měření naprázdno :



Obr.19: Úprava náhradního zapojení pro Γ -článek, resp. vstupní impedance

Pokud se na náhradní schéma podíváme detailněji, můžeme o odporu R_{Ps} a indukčnosti L_{Ps} prohlásit, že jsou paralelní kombinací odporu R_{Fe} a indukčnosti L_{1m} . Tudiž musíme sériové odpory a indukčnosti přepočítat na paralelní kombinaci (uvádím jen odvozené vzorce pro přepočítání ze sériového řazení R a L na paralelní řazení R a L).

Identifikace je provedena pro motor s klasickým vinutím. Při měření naprázdno můžeme zanedbat skluz, tudíž můžeme prohlásit odpor R_r / s za nekonečný, neboť $s = 0$.

Z tabulky pro modrý řádek mohou psát:

$$R_p = \frac{P_p}{3 \cdot I_p^2} = 18,502 \Omega \quad (3.4)$$

$$\omega L_p = \omega L_{PS} = \frac{S_p \cdot \sin \varphi}{3 \cdot I_p^2} = 113,203 \Omega \quad (3.5)$$

$$R_{PS} = R_p - R_1 = 18,502 - 3,2 = 15,302 \Omega \quad (3.6)$$

Přepočítání na paralelní kombinaci:

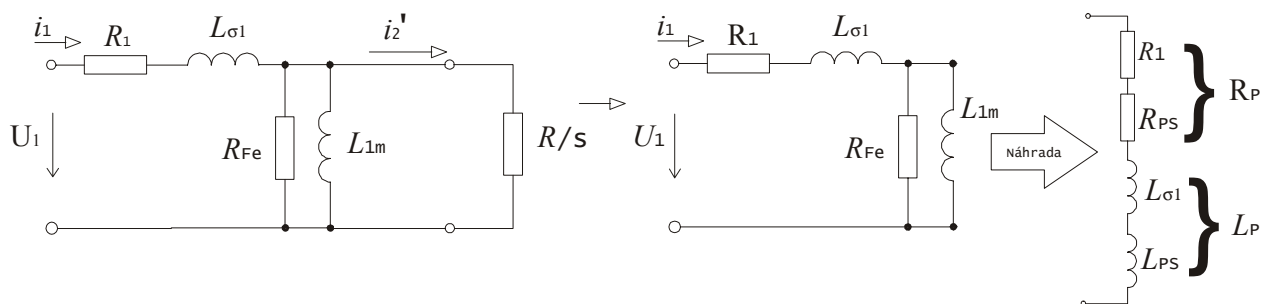
$$R_{Fe\Gamma} = \frac{(\omega L_{PS})^2 - R_{PS}^2}{R_{PS}} = 822,142 \Omega \quad (3.7)$$

$$\omega L_{1m\Gamma} = \sqrt{\frac{R_{PS} \cdot R_{Fe}^2}{R_{Fe} - R_{PS}}} = 113,22 \Omega \Rightarrow L_{1m\Gamma} = 0,3604 \text{ H} \quad (3.8)$$

Jelikož hodnoty R_p a ωL_p jsou pro všechny tři články stejné, mohou rovnou dopočítat T-článek.

Řešení pro T-článek:

Postup je podobný jako u Γ -článeků, ovšem s tím rozdílem, že nám v zapojení figuruje rozptylová indukčnost $L_{\sigma 1}$:



Obr.20: Úprava náhradního zapojení pro T-článek

$$R_{PS} = R_p - R_1 = 18,502 - 3,2 = 15,302 \Omega$$

$$\omega L_{\sigma 1\Gamma} \text{ volím jako průměrnou hodnotu} = 5,7366 \Sigma$$

$$\omega L_{PS} = \omega L_p - \omega L_{\sigma 1\Gamma} = 113,203 - 5,7366 = 107,466 \Omega$$

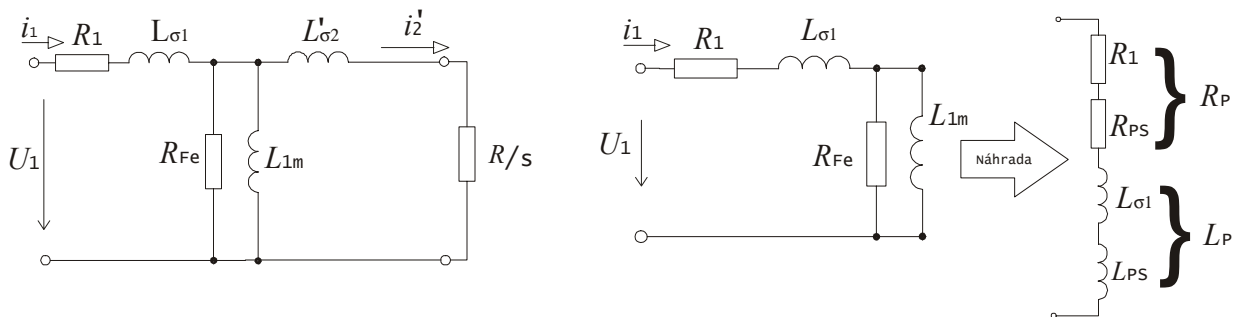
Po přepočtení na paralelní kombinaci:

$$R_{FeIG} = \frac{(\omega L_{PS})^2 - R_{PS}^2}{R_{PS}} = 739,42\Omega$$

$$\omega L_{1mIG} = \sqrt{\frac{R_{PS} \cdot R_{Fe}^2}{R_{Fe} - R_{PS}}} = 107,49\Omega \Rightarrow L_{1mIG} = 0,3422 \text{ H}$$

Řešení pro T-článek:

Jeho úprava náhradního zapojení je stejná jako schéma T-článku viz. Obr.21



Obr.21: Úprava náhradního zapojení pro T-článek

Tudíž můžeme celé schéma řešit jako T-článek:

$$R_{PS} = R_p - R_1 = 18,502 - 3,2 = 15,302\Omega$$

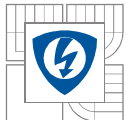
$$\omega L_{\sigma 1} \text{ volím jako průměrnou hodnotu} = 2,868 \Omega$$

$$\omega L_{PS} = \omega L_p - \omega L_{\sigma 1T} = 113,203 - 2,868 = 110,335\Omega$$

Po přepočtení na paralelní kombinaci:

$$R_{FeT} = \frac{(\omega L_{PS})^2 - R_{PS}^2}{R_{PS}} = 780,27\Omega$$

$$\omega L_{1mT} = \sqrt{\frac{R_{PS} \cdot R_{Fe}^2}{R_{Fe} - R_{PS}}} = 110,36\Omega \Rightarrow L_{1mT} = 0,3513 \text{ H}$$



U [V]	I_1 [A]	I_2 [A]	I_3 [A]	I [A]	P [W]	n [min^{-1}]	S [VA]	$\cos \varphi$	φ [rad]
440	2,81	2,84	2,65	2,767	337,5	2998	2108,48	0,1601	1,4100
400	2,01	2,09	1,94	2,013	225	2998	1394,88	0,1613	1,4088
360	3,79	4,05	3,71	1,540	183	2998	960,25	0,1906	1,3790
320	3,05	3,39	3,01	1,260	147	2998	698,36	0,2105	1,3587
280	2,56	2,74	2,52	1,043	111	2997	505,67	0,2195	1,3495
240	2,09	2,27	2,11	0,863	90	2995	358,60	0,2510	1,3171
200	3,48	3,65	3,43	0,704	90	2994	243,87	0,3690	1,1928
160	2,85	2,97	2,81	0,575	70,5	2990	159,44	0,4422	1,1128
120	2,35	2,46	2,22	0,469	58,5	2984	97,41	0,6006	0,9266
80	2,25	2,34	2,15	0,449	73,5	2945	62,26	x	x
40	4,47	4,51	4,35	0,889	76,5	2825	61,57	x	x

Tab.17: Hodnoty z měření naprázdno pro motor s klasickým vinutím

Výpočet uvažují pro hodnoty do $\cos\varphi=0,2$

Hodnoty v tabulce pro Γ -článek:

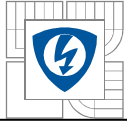
R_p [Ω]	ωL_p [Ω]	ωL_{ps} [Ω]	R_{ps} [Ω]	R_{Fe} [Ω]	ωL_{1m} [Ω]	L_{1m} [H]
14,697	90,636	90,636	11,497	703,000	90,65	0,2885
18,502	113,203	113,203	15,302	822,142	113,22	0,3604
25,721	132,491	132,491	22,521	756,927	132,55	0,4219
30,864	143,344	143,344	27,664	715,078	143,45	0,4566
34,034	151,261	151,261	30,834	711,209	151,40	0,4819
40,312	155,482	155,482	37,112	614,284	155,77	0,4958
60,531	152,442	152,442	57,331	348,012	154,55	0,4920
70,995	144,012	144,012	67,795	238,119	150,23	0,4782
88,778	118,201	118,201	85,578	77,682	x	x
x	x	x	x	x	x	x
gamma	x	x	Φ	720,440	x	0,4175

Tab.18: Identifikované hodnoty pro Γ -článek u motoru s klasickým vinutím

Hodnoty v tabulce pro Γ -článek :

R_p [Ω]	ωL_p [Ω]	ωL_{ps} [Ω]	R_{ps} [Ω]	R_{Fe} [Ω]	ωL_{1m} [Ω]	L_{1m} [H]
14,697	90,636	84,899	11,497	615,42	84,91	0,2703
18,502	113,203	107,467	15,302	739,42	107,49	0,3422
25,721	132,491	126,755	22,521	690,89	126,82	0,4037
30,864	143,344	137,607	27,664	656,82	137,73	0,4384
34,034	151,261	145,525	30,834	655,99	145,69	0,4637
40,312	155,482	149,745	37,112	567,10	150,07	0,4777
60,531	152,442	146,705	57,331	318,08	149,15	0,4748
70,995	144,012	138,276	67,795	214,23	145,77	0,4640
88,778	118,201	112,465	85,578	62,22	x	x
x	x	x	x	x	x	x
inv gama	x	x	Φ	654,273	x	0,3993

Tab.19: Identifikované hodnoty pro Γ -článek u motoru s klasickým vinutím



Hodnoty v tabulce pro T-článek:

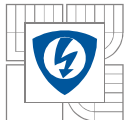
R_p [Ω]	ωL_p [Ω]	ωL_{ps} [Ω]	R_{ps} [Ω]	R_{Fe} [Ω]	ωL_{1m} [Ω]	L_{1m} [H]
14,697	90,636	87,768	11,497	658,50	87,78	0,2794
18,502	113,203	110,335	15,302	780,25	110,36	0,3513
25,721	132,491	129,623	22,521	723,55	129,69	0,4128
30,864	143,344	140,476	27,664	685,65	140,59	0,4475
34,034	151,261	148,393	30,834	683,34	148,54	0,4728
40,312	155,482	152,614	37,112	590,47	152,92	0,4867
60,531	152,442	149,574	57,331	332,90	151,84	0,4833
70,995	144,012	141,144	67,795	226,06	147,95	0,4710
88,778	118,201	115,333	85,578	69,86	x	x
x	x	x	x	x	x	x
T	x	x	Φ	686,959	x	0,4084

Tab.20: Identifikované hodnoty pro T-článek u motoru s klasickým vinutím

Postup pro identifikaci parametrů motoru se speciálním vinutím je úplně stejný, takže:

U [V]	I_1 [A]	I_2 [A]	I_3 [A]	I [A]	P [W]	n [min^{-1}]	S [VA]	$\cos \varphi$	φ [rad]
440	2,91	2,95	2,82	2,893	315	2995	2205,02	0,1429	1,4274
400	2,08	2,14	1,95	2,057	202,5	2995	1424,90	0,1421	1,4282
360	3,85	3,87	3,53	1,500	150	2995	935,31	0,1604	1,4097
320	3,21	3,22	3,05	1,264	120	2994	700,58	0,1713	1,3987
280	2,65	2,72	2,51	1,051	94,8	2994	509,55	0,1860	1,3837
240	2,21	2,27	2,09	0,876	82,1	2994	364,15	0,2255	1,3434
200	3,52	3,71	3,38	0,707	74,5	2992	245,03	0,3040	1,2619
160	2,91	2,95	2,76	0,575	65,7	2990	159,26	0,4125	1,1456
120	2,41	2,45	2,24	0,473	58,5	2977	98,38	0,5946	0,9340
80	2,65	2,71	2,48	0,523	51,8	2951	72,42	0,7152	0,7738
40	4,15	4,09	3,98	0,815	46,8	2823	56,44	0,8292	0,5932

Tab.21: Hodnoty z měření naprázdno pro motor se speciálním vinutím



Hodnoty v tabulce pro Γ -článek:

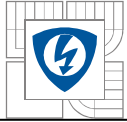
R_p [Ω]	ωL_p [Ω]	ωL_{ps} [Ω]	R_{ps} [Ω]	R_{Fe} [Ω]	ωL_{1m} [Ω]	L_{1m} [H]
12,543	86,899	86,899	9,443	790,27	86,905	0,2766
15,958	111,149	111,149	12,858	947,96	111,159	0,3538
22,222	136,771	136,771	19,122	959,12	136,798	0,4354
25,036	144,004	144,004	21,936	923,42	144,045	0,4585
28,626	151,176	151,176	25,526	869,81	151,241	0,4814
35,663	154,105	154,105	32,563	696,75	154,274	0,4911
49,635	155,518	155,518	46,535	x	x	x
66,315	146,431	146,431	63,215	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x
gama	x	x	Φ	864,56	x	0,4161

Tab.22: Identifikované hodnoty pro Γ -článek u motoru se speciálním vinutím

Hodnoty v tabulce pro I -článek:

R_p [Ω]	ωL_p [Ω]	ωL_{ps} [Ω]	R_{ps} [Ω]	R_{Fe} [Ω]	ωL_{1m} [Ω]	L_{1m} [H]
12,543	86,899	81,618	9,443	696,0248	81,6258	0,259823
15,958	111,149	105,868	12,858	858,8234	105,8797	0,337026
22,222	136,771	131,490	19,122	885,0348	131,5202	0,418642
25,036	144,004	138,723	21,936	855,3507	138,7691	0,441716
28,626	151,176	145,895	25,526	808,3517	145,9678	0,46463
35,663	154,105	148,824	32,563	647,6254	149,013	0,474323
49,635	155,518	150,237	46,535	438,5053	151,0906	0,480936
66,315	146,431	141,150	63,215	251,9513	145,814	0,46414
x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x
inv gama	x	x	Φ	791,87	x	0,3994

Tab.23: Identifikované hodnoty pro I -článek u motoru se speciálním vinutím



Hodnoty pro T-článek:

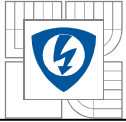
R_p [Ω]	ωL_p [Ω]	ωL_{ps} [Ω]	R_{ps} [Ω]	R_{Fe} [Ω]	ωL_{1m} [Ω]	L_{1m} [H]
12,543	86,899	84,260	9,443	742,4362	84,2671	0,268231
15,958	111,149	108,510	12,858	902,873	108,5208	0,345433
22,222	136,771	134,132	19,122	921,734	134,1604	0,427046
25,036	144,004	141,365	21,936	889,0849	141,4085	0,450117
28,626	151,176	148,537	25,526	838,8264	148,6059	0,473027
35,663	154,105	151,466	32,563	671,9898	151,6446	0,4827
49,635	155,518	152,879	46,535	455,7146	153,6827	0,489187
66,315	146,431	143,792	63,215	263,8601	148,105	0,471433
x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x
T	x	x	Φ	827,82	x	0,4078

Tab.24: Identifikované hodnoty pro T-článek u motoru se speciálním vinutím

3 Výsledná tabulka identifikovaných parametrů :

		AOM090L02-016		AOM090L02-XXX	
		A+B	P+K	A+B	P+K
Γ-článek	R_1 [Ω]	3,2	3,2	3,1	3,1
	R_{Fe} [Ω]	692,89	720,44	768,52	864,56
	L_{1m} [H]	0,38271	0,4175	0,3392	0,4161
	$L'_{\sigma 2}$ [H]	0,01798	0,01826	0,02231	0,01681
	R [Ω]	2,4317	2,463	2,204	2,396
I-článek	R_1 [Ω]	3,2	3,2	3,1	3,1
	R_{Fe} [Ω]	692,89	654,273	768,52	791,87
	L_{1m} [H]	0,3655	0,3993	0,3429	0,3994
	$L_{\sigma 1}$ [H]	0,01718	0,01826	0,02102	0,01681
	R [Ω]	2,2183	2,463	1,9567	2,396
T-článek	R_1 [Ω]	3,2	3,2	3,1	3,1
	R_{Fe} [Ω]	692,89	686,959	768,52	827,82
	L_{1m} [H]	0,374	0,4084	0,35325	0,4078
	$L_{\sigma 1}$ [H]	0,00868	0,00913	0,01067	0,0084
	$L'_{\sigma 2}$ [H]	0,00868	0,00913	0,01067	0,0084
R [Ω]	2,3226	2,463	2,0767	2,396	

Tab.25: Tabulka všech identifikovaných parametrů pro oba motory



4 Výpočet momentu a proudu statoru:

Vztahy jsou přejaté z [2] (kap.13,14), kde jsou odvozeny pro náhradní zapojení Γ -článku.

Moment jako funkce skluzu s:

$$M = \frac{3U^2 R p \omega s}{\left[\left(1 + \frac{L'_{\sigma 2}}{L_{1m}} \right) R_1 \omega s + \left(1 + \frac{R_1}{R_{Fe}} \right) \right]^2 + \left[\left(1 + \frac{R_1}{R_{Fe}} \right) \omega^2 L'_{\sigma 2} s - \frac{R_1}{L_{1m}} R \right]^2} \quad (4.1)$$

Moment jako funkce rotorového kmitočtu:

V rovnici (4.1) nahradíme skluz s výrazem $p\Omega_r / \omega$ a dostaneme:

$$M = \frac{3U^2 R p^2 \Omega_r}{\left[\left(1 + \frac{L'_{\sigma 2}}{L_{1m}} \right) R_1 p \Omega_r + \left(1 + \frac{R_1}{R_{Fe}} \right) R \omega \right]^2 + \left[\left(1 + \frac{R_1}{R_{Fe}} \right) \omega L'_{\sigma 2} p \Omega_r - \frac{R_1}{L_{1m}} R \right]^2} \quad (4.2)$$

Moment jako funkce mechanické rychlosti hřídele:

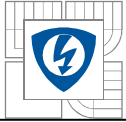
V rovnici (4.1) nahradíme skluz s výrazem $1 - p\Omega_m / \omega$ a dostaneme:

$$M = \frac{3U^2 R p^2 (\omega - p\Omega_m)}{\left[\left(1 + \frac{L'_{\sigma 2}}{L_{1m}} \right) R_1 (\omega - p\Omega_m) + \left(1 + \frac{R_1}{R_{Fe}} \right) R \omega \right]^2 + \left[\left(1 + \frac{R_1}{R_{Fe}} \right) \omega L'_{\sigma 2} (\omega - p\Omega_m) - \frac{R_1}{L_{1m}} R \right]^2} \quad (4.3)$$

při vynášení momentu jako funkci mechanických otáček značím v grafech otáčky mechanické n místo Ω_m

Statorový proud jako funkce skluzu s:

$$I = U \sqrt{\frac{\left[\frac{\omega}{R_{Fe}} + \left(1 + \frac{L'_{\sigma 2}}{L_{1m}} \right) \frac{\omega}{R} s \right]^2 + \left[\frac{\omega^2 L'_{\sigma 2}}{R_{Fe} R} s - \frac{1}{L_{1m}} \right]^2}{\left[\left(1 + \frac{R_1}{R_{Fe}} \right) \omega + \left(1 + \frac{L'_{\sigma 2}}{L_{1m}} \right) \frac{R_1 \omega}{R} s \right]^2 + \left[\left(1 + \frac{R_1}{R_{Fe}} \right) \frac{\omega^2 L'_{\sigma 2}}{R} s - \frac{R_1}{L_{1m}} \right]^2}} \quad (4.4)$$



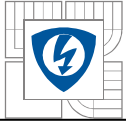
Statorový proud jako funkce rotorového kmitočtu:

$$I = U \sqrt{\frac{\left[\frac{\omega}{R_{Fe}} + \left(1 + \frac{L'_{\sigma 2}}{L_{1m}}\right) \frac{p}{R} \Omega_r \right]^2 + \left[\frac{p \omega L'_{\sigma 2}}{R_{Fe} R} \Omega_r - \frac{1}{L_{1m}} \right]^2}{\left[\left(1 + \frac{R_1}{R_{Fe}}\right) \omega + \left(1 + \frac{L'_{\sigma 2}}{L_{1m}}\right) \frac{R_1 p}{R} \Omega_r \right]^2 + \left[\left(1 + \frac{R_1}{R_{Fe}}\right) \frac{p \omega L'_{\sigma 2}}{R} \Omega_r - \frac{R_1}{L_{1m}} \right]^2}} \quad (4.5)$$

Statorový proud jako funkce mechanické rychlosti hřídele:

$$I = U \sqrt{\frac{\left[\frac{\omega}{R_{Fe}} + \left(1 + \frac{L'_{\sigma 2}}{L_{1m}}\right) \frac{(\omega - p \Omega_m)}{R} \right]^2 + \left[\frac{\omega L'_{\sigma 2}}{R_{Fe} R} (\omega - p \Omega_m) - \frac{1}{L_{1m}} \right]^2}{\left[\left(1 + \frac{R_1}{R_{Fe}}\right) \omega + \left(1 + \frac{L'_{\sigma 2}}{L_{1m}}\right) \frac{R_1}{R} (\omega - p \Omega_m) \right]^2 + \left[\left(1 + \frac{R_1}{R_{Fe}}\right) \frac{\omega L'_{\sigma 2}}{R} (\omega - p \Omega_m) - \frac{R_1}{L_{1m}} \right]^2}} \quad (4.6)$$

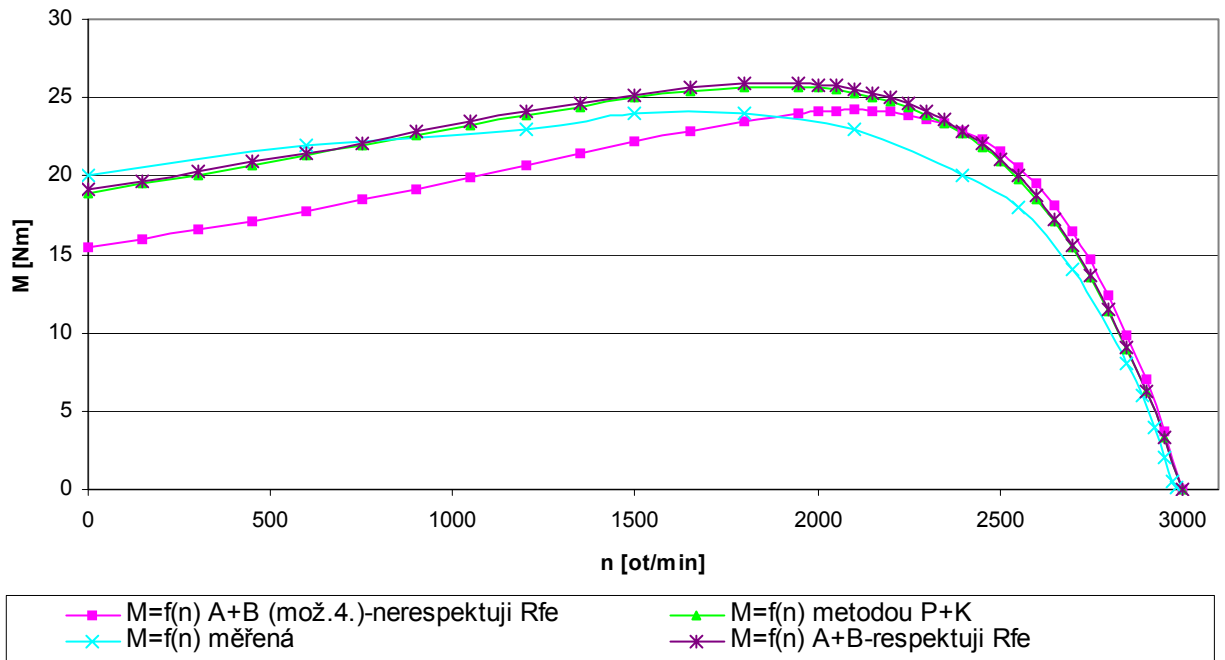
Dosadíme-li do těchto vztahu hodnoty parametrů, jež byly identifikované v předchozích uvedených metodách a za napětí $U = 231\text{V}$, $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,1415 \cdot 50 = 314,159\text{rad/s}$ obdržíme hodnoty, které můžeme vynést v grafech



Moment a statorový proud jako funkce mechanických otáček hřídele n :

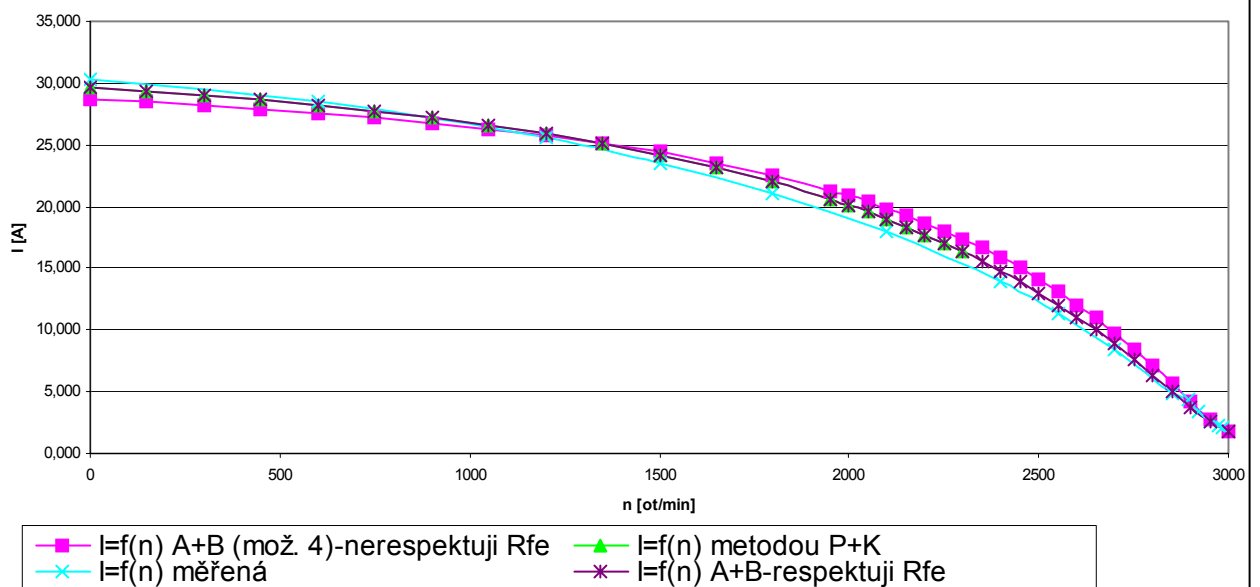
Pro motor s klasickým vinutím:

Závislost momentu motoru na otáčkách n u motoru AOM090L02-016

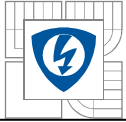


Obr.22: Průběh momentu v závislosti na otáčkách hřídele n u motoru s klasickým vinutím

Závislost statorového proudu na otáčkách n u motoru AOM090L02-016

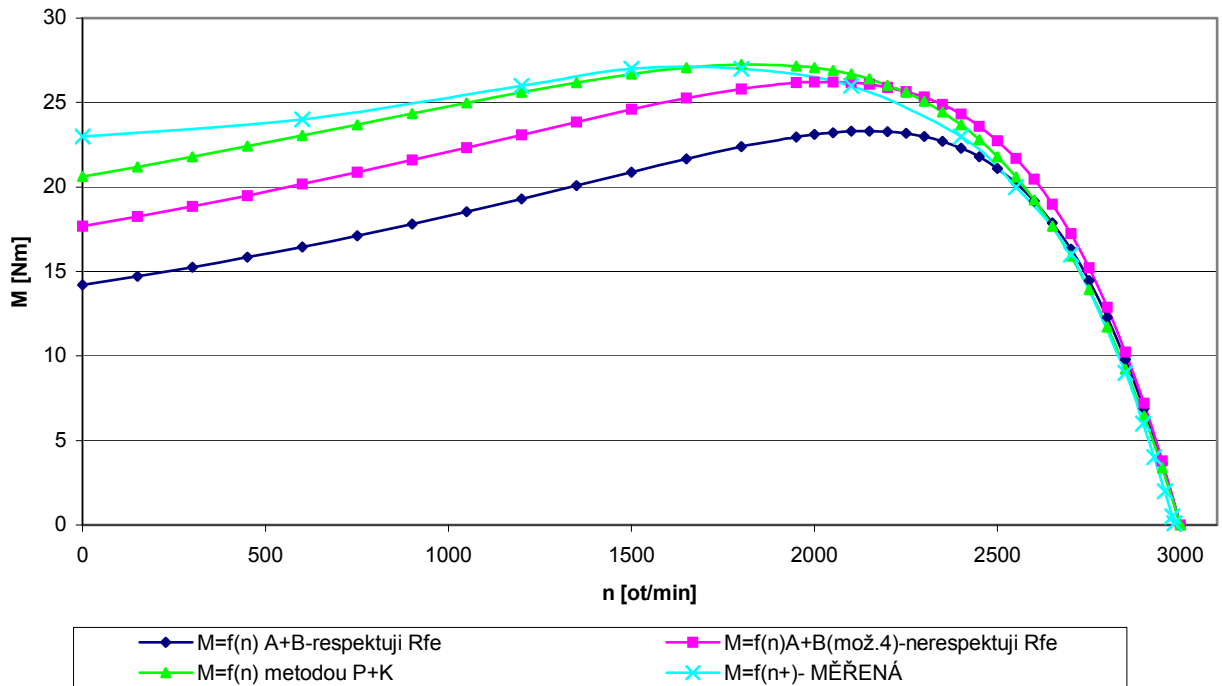


Obr.23: Průběh proudu statoru v závislosti na otáčkách hřídele n u motoru s klasickým vinutím



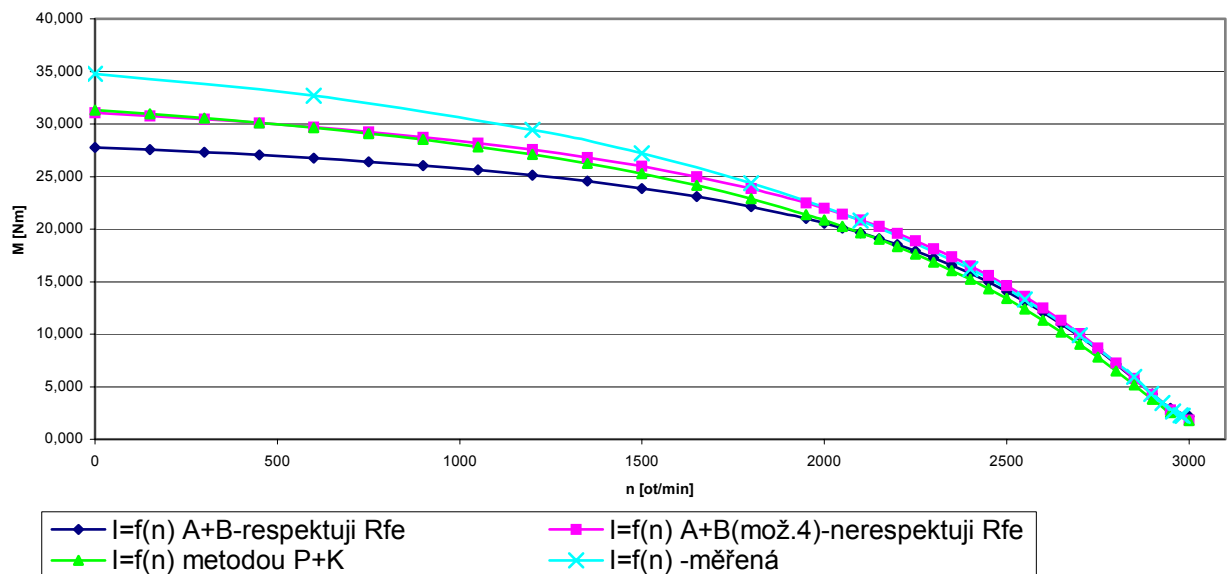
Pro motor se speciálním vinutím:

Závislost momentu motoru na otáčkách n u motoru AOM090L02-xxx

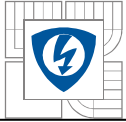


Obr.24: Průběh momentu v závislosti na otáčkách hřídele n u motoru se speciálním vinutím

Závislost statorového proudu na otáčkách n motoru AOM090L02-xxx



Obr.25: Průběh proudu statoru v závislosti na otáčkách hřídele n u motoru se speciálním vinutím



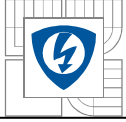
5 Závěr

Práce je věnována řešení identifikace parametrů náhradního zapojení asynchronního motoru ve tvaru Γ -článku a řešení pomocí metody blízkých bodů A a B a metodou měření naprázdno a nakrátko. Při užití experimentálních metod řešení Γ -článku jsem došel k závěrům:

1. Řešením podle metody blízkých bodů A a B s respektováním ztrát v železe jsem obdržel řešení, jenž jsou matematicky správná, ovšem některá jsou fyzikálně nerealizovatelná nebo jsou nevhodná pro svůj rozkmit hodnot. Všechna tato řešení, ať už fyzikálně správná nebo nerealizovatelná, se shodují konstrukcí momentové charakteristiky $M = f(n)$ v pracovní oblasti, pro níž byla identifikace provedena. Rozkmit hodnot za touto oblastí je u hodnot fyzikálně správných i nerealizovatelných od měřené charakteristiky dosti zřejmý. Takže můžeme prohlásit, že tato metoda vyhovuje pro řešení Γ -článku v dané pracovní oblasti (kromě oblasti malých otáček tj. za momentem zvratu) pro daný motor.
2. Metoda blízkých bodů A a B, při níž u výpočtu neuvažuji ztráty v železe, je určitou zjednodušující alternativou řešení Γ -článku metodou blízkých bodů. Jelikož byly u této metody jiné počáteční podmínky, tj. R_1 – měřen za studena, je řešení dosti podobné metodě A+B s respektováním ztrát v železe. Opět se tato metoda shoduje s měřenou zatěžovací charakteristikou $M = f(n)$ v pracovní oblasti.
3. Řešením Γ -článku metodou vzdálených bodů tj. metodou naprázdno a nakrátko, kde zanedbáváme určité okolnosti viz. kap. 2.3, jsem došel k závěru, že tato metoda vcelku přesně kopíruje měřenou charakteristiku $M = f(n)$ právě z důvodu měření v takto vzdálených bodech (P-naprázdko, K – nakrátko, $s=0$ a $s=1$). Shoda je patrná i v pracovní oblasti, takže můžeme tuto metodu prohlásit za nejlepší alternativu identifikace Γ -článku. Navíc je řešení vždy fyzikálně správné na rozdíl od metody blízkých bodů A a B.

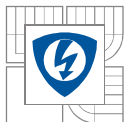
Při srovnání motoru s klasickým vinutím a motoru se speciálním vinutím jsem dospěl k závěru, že motor se speciálním vinutím má výhodnější strmější momentovou charakteristiku $M = f(n)$ než motor s klasickým vinutím, v pracovní oblasti při svém chodu odebírá nižší proud než motor s klasickým vinutím při stejném zatěžovacím momentu. Rovněž účinnost motoru se speciálním vinutím je v pracovní oblasti vyšší než u motoru s klasickým vinutím.

Z těchto poznatků vyplývá výhodnost použití speciálního vinutí u asynchronních motorů.



6 Literatura

- [1] R.Mravec.: Elektrické stroje a přístroje, I. Elektrické stroje. Vydalo SNTL, Praha 1, 1982
- [2] Patočka M.: Střídavé stroje .Vyd. FEKT, VUT Brno, 2007
- [3] Suchánek V.: Silnoprúdová elektrotechnika v automatizaci. SNTL, Praha, 1980, vydání druhé, upravené.
- [4] G.K.Petrov: Elektrické stroje 2. nakladatelství Academia, Praha 1982 2. opravené a doplněné vydání
- [5] Patočka M.: Několik poznámek k transformátoru. Sborník konf SYMEP 2004, ČEVUT Praha. FEL. 21-23.6.2004
- [6] J.Běloušek: Identifikace parametrů asynchronního motoru. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2006



7 Přílohy

Příloha A -Štítek motoru:

$$P = 2,2 \text{ kW}$$

$$U = 400 \text{ V}$$

$$I = 4,5 \text{ A}$$

$$n = 2865 \text{ ot/min.}$$

$$\cos \varphi = 0,88$$

IM – 1001-provedení patkové

S1 – trvalé zatížení

teplotní třída F

v.č.: No 6204718 – pro motor s klasickým vinutím

Tyto hodnoty platí i pro motor se speciálním vinutím, kromě výrobního čísla (nebylo zjištěno)

Příloha B – Měřené hodnoty obou motorů:

Motor s klasickým vinutím AOM090L02-016:

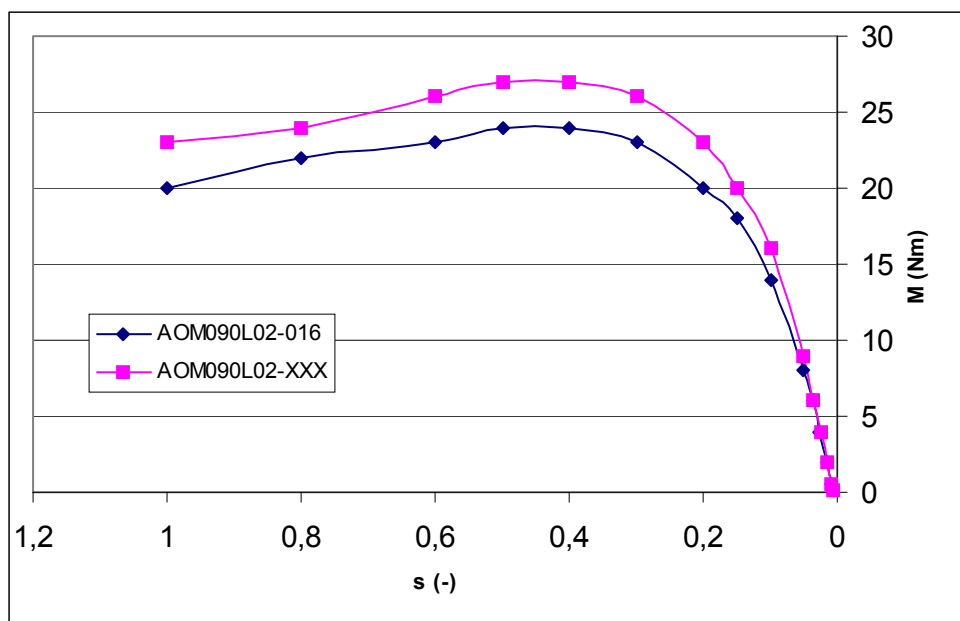
U	I	P	cos φ	n	M	s
V	A	kW	-	min ⁻¹	Nm	%
400	2,06	0,03	0,347	2983	0,1	0,005667
400	2,22	0,155	0,459	2974	0,5	0,008667
400	2,62	0,618	0,674	2953	2	0,015667
400	3,47	1,223	0,821	2922	4	0,026
400	4,31	1,82	0,884	2892	6	0,036
400	4,92	2,43	0,874	2850	8	0,05
400	8,4	3,93	0,908	2700	14	0,1
400	11,37	4,72	0,903	2550	18	0,15
400	13,88	5,06	0,892	2400	20	0,2
400	17,92	5	0,872	2100	23	0,3
400	21,06	4,49	0,857	1800	24	0,4
400	23,56	3,77	0,845	1500	24	0,5
400	25,58	2,98	0,835	1200	23	0,6
400	28,46	1,39	0,814	600	22	0,8
400	30,27	0	0,792	0	20	1

Motor se speciálním vnutím:

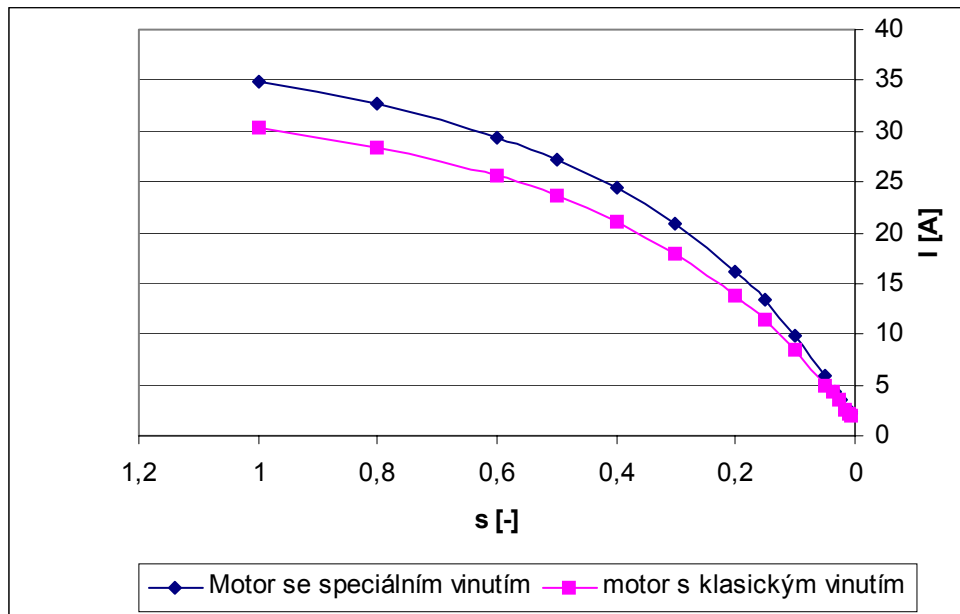
U V	I A	P kW	cos φ -	n min ⁻¹	M Nm	s %
400	2,25	0,03	0,389	2983	0,1	0,005667
400	2,29	0,155	0,443	2977	0,5	0,007667
400	2,66	0,619	0,61	2957	2	0,014333
400	3,45	1,226	0,806	2928	4	0,024
400	4,29	1,82	0,875	2897	6	0,034333
400	5,93	2,82	0,853	2850	9	0,05
400	9,89	4,53	0,904	2700	16	0,1
400	13,31	5,41	0,906	2550	20	0,15
400	16,19	5,78	0,899	2400	23	0,2
400	20,81	5,69	0,885	2100	26	0,3
400	24,37	5,07	0,873	1800	27	0,4
400	27,19	4,24	0,864	1500	27	0,5
400	29,45	3,34	0,856	1200	26	0,6
400	32,7	1,55	0,839	600	24	0,8
400	34,79	0	0,82	0	23	1

Příloha C

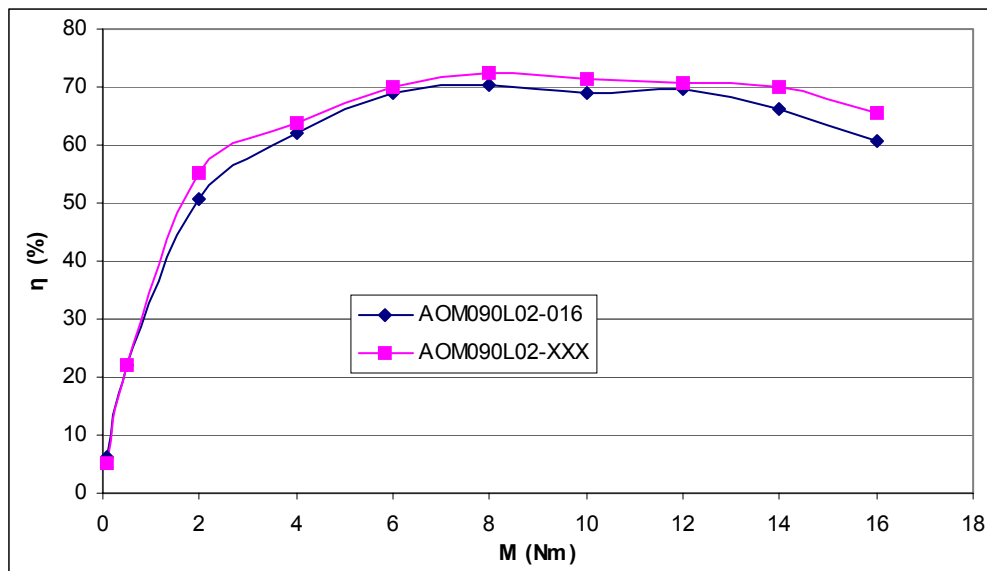
Měřený průběh momentu obou motorů:

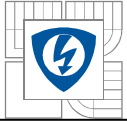


Měřený průběh proudu statoru obou motorů:



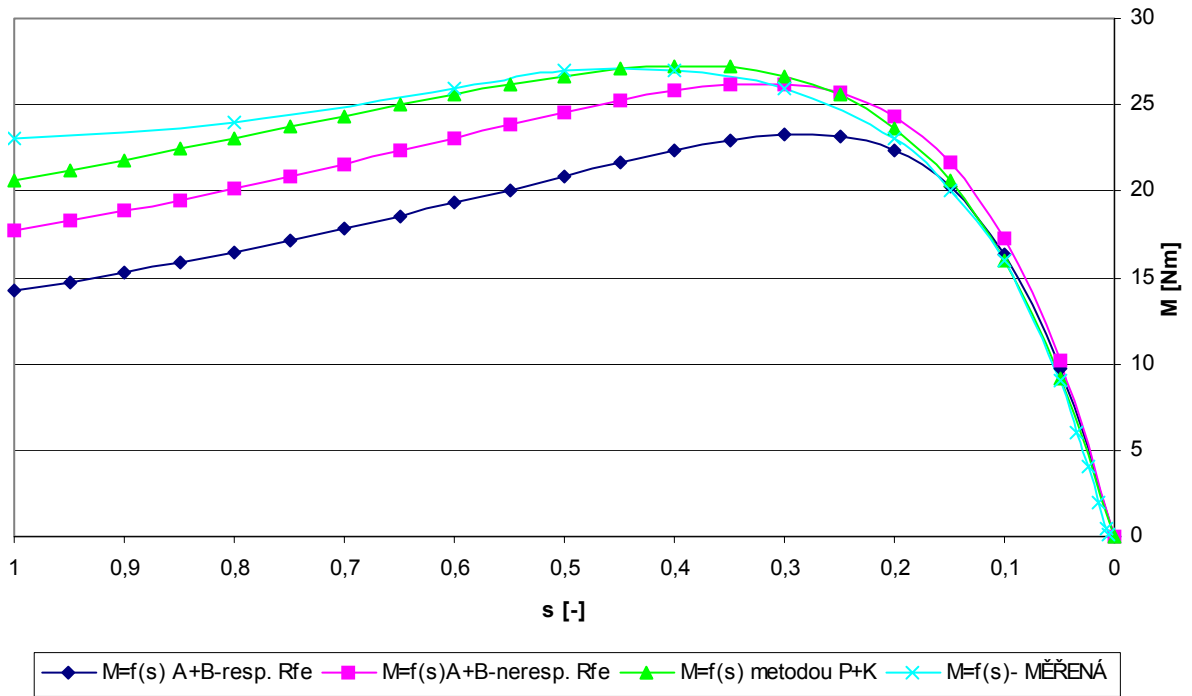
Závislost účinnosti na zatěžovacím momentu:



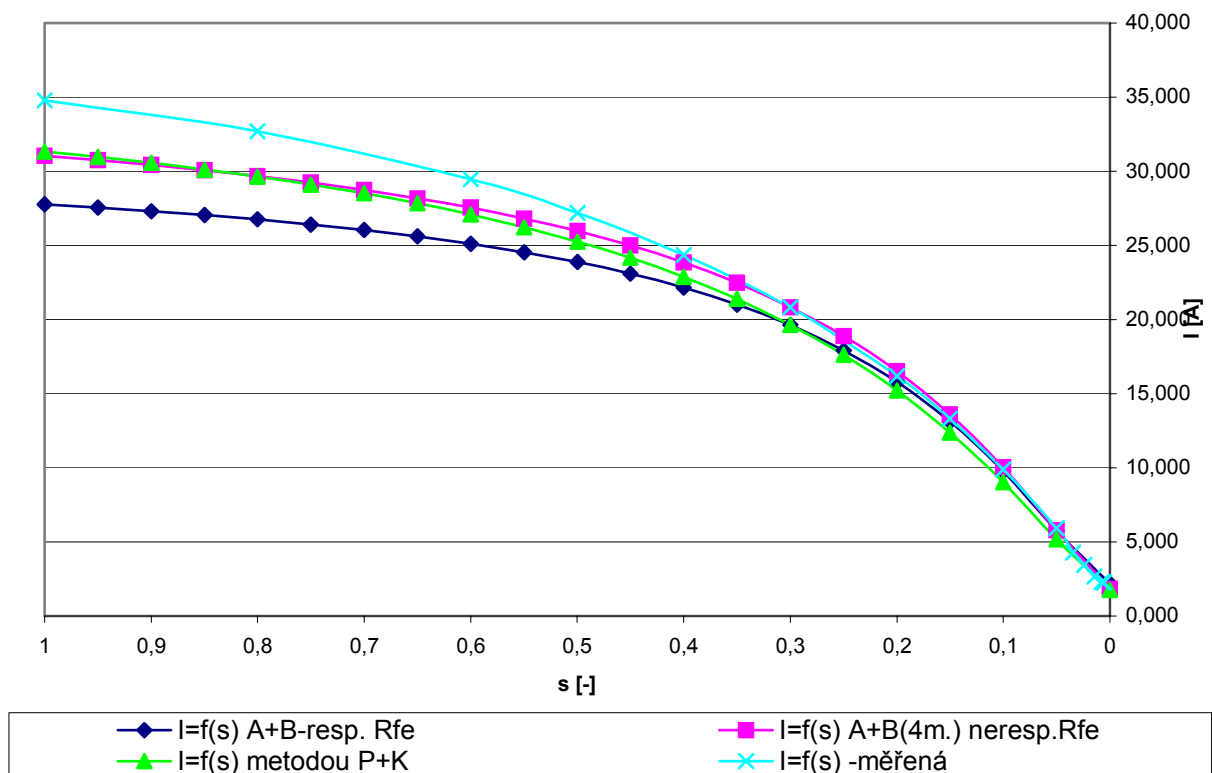


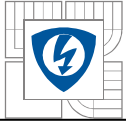
Příloha D

Závislost momentu motoru na skluzu u motoru AOM090L02-xxx

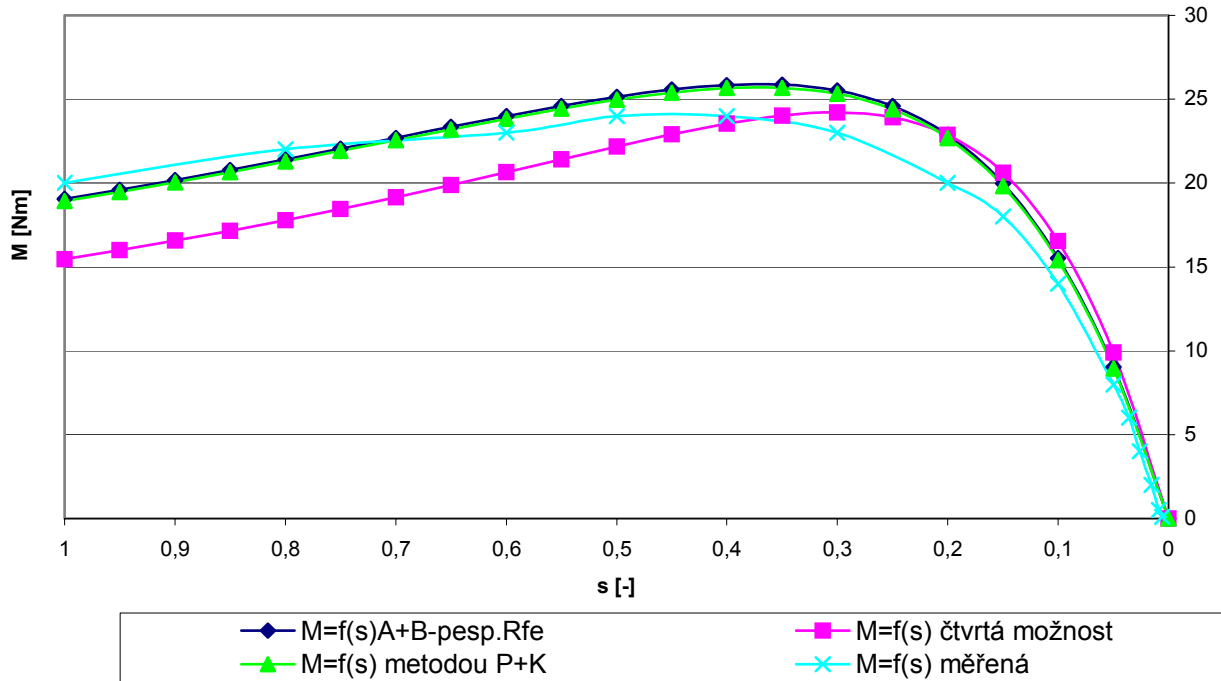


Závislost statorového proudu na skluzu motoru AOM090L02-xxx

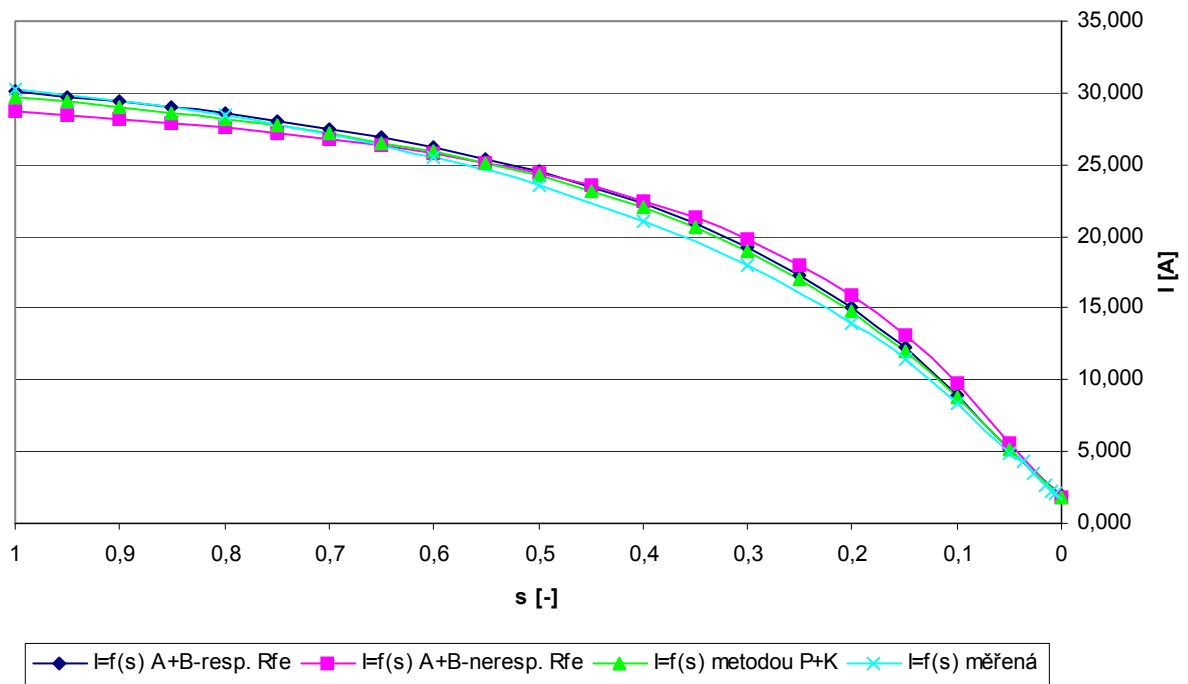


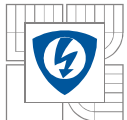


Závislost momentu motoru skluzu n u motoru AOM090L02-016



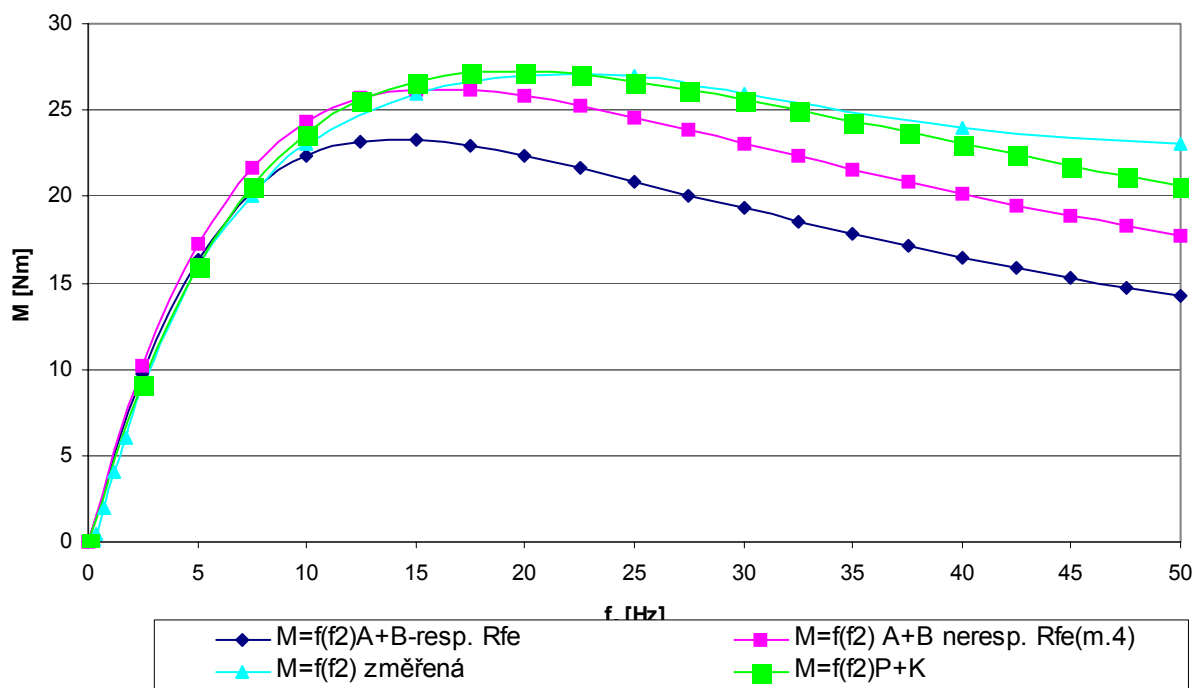
Závislost statorového proudu na skluzu u motoru AOM090L02-016





Příloha E

Závislost momentu na rotorovém kmitočtu f_2 u motoru AOM090L02-xxx



Závislost statorového proudu na rotorovém kmitočtu f_2 u motoru AOM090L02-xxx

