

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Metody spouštění asynchronních motorů**

**Methods of Starting of Induction Motors**

**2015**

**Jan Hrabčík**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Hrabčík**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: **Metody spouštění asynchronních motorů**  
**Methods of Starting of Induction Motors**

Zásady pro vypracování:

- 1) Teoretický rozbor jednotlivých metod spouštění asynchronních motorů
- 2) Měření na trojfázovém asynchronním motoru při použití vybraných metod spouštění
- 3) Vyhodnocení měření
- 4) Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- 1) Petrov, G.N. - Elektrické stroje 2, Academia 1982
- 2) Chmelík, K. - Asynchronní a synchronní elektrické stroje, VŠB-TU Ostrava 2002
- 3) Boldea, I.; Nasar, S.A. - The Induction Machine Handbook, CRC Press 2001
- 4) Příručky a katalogy výrobců měničů frekvence a softstartérů

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Čech, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 7.5.2015

  
.....

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu Ing. Václavovu Čechovi, Ph.D., panu Ing. Stanislavu Rusnokovi a panu Ing. Pavlu Sobotovi za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Předkládaná práce obsahuje teoretický i praktický rozbor různých metod spouštění asynchronních motorů. Zahrnuje i teoretický rozbor principu funkce asynchronního motoru a rozbor problematiky záběrného proudu. Práce je dále doplněna o základní měření uplatňovaná pro zjištění provozních vlastností daného asynchronního motoru a také o průběhy napětí a proudů při spouštění motoru pomocí daných metod.

## **Klíčová slova**

Asynchronní motor; frekvenční měnič; softstartér; měření naprázdno; měření nakrátko; spouštění hvězda-trojúhelník; spouštění asynchronního motoru.

## **Abstract**

Presented thesis includes theoretical and practical analysis of various starting methods of induction motors. It contains theoretical analysis of principle of induction motor and starting current of motor also. The bachelor thesis is supplemented by basic measurements which are used for solving of operating properties of induction motor and thesis contains also voltage and current waveforms during starting of induction motor for various method of starting.

## **Keywords**

Induction motor; variable frequency drive; soft-starter; no-load measure; short-circuit measure; wye-delta starting; induction motor starting

## Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
$U$	V	Napětí
$I$	A	Proud
$P$	W	Výkon
$\cos\varphi$	-	Účíník
$R$	$\Omega$	Odpor
$s$	-	Skruz
$n$	ot/min	Otáčky
$M$	N·m	Moment
$f$	Hz	Frekvence
$\omega$	s <sup>-1</sup>	Úhlová rychlost
$t$	s	Čas
$p$	-	Počet pólových dvojic
$Z$	$\Omega$	Impedance
$\eta$	%	Účinnost

# Obsah

Úvod.....	8
1 Asynchronní motor.....	9
1.1 Konstrukce .....	9
1.1.1 Rotor asynchronního stroje .....	10
1.1.1.1 S kotvou na krátko.....	10
1.1.1.2 Kroužkový.....	10
1.1.2 Stator asynchronního stroje.....	11
1.2 Princip funkce .....	11
1.3 Provozní stavy.....	12
1.4 Náhradní schéma asynchronního motoru.....	13
1.5 Záběrný proud.....	14
2 Metody spouštění .....	15
2.1 Přímé připojení na síť.....	15
2.2 Přepínač Y/D.....	16
2.3 Spouštění pomocí měniče frekvence.....	18
2.3.1 Nepřímé měniče kmitočtu .....	18
2.3.2 Přímé měniče kmitočtu.....	19
2.4 Spouštění pomocí softstartéru .....	19
3 Zkoumaný asynchronní motor .....	21
3.1 Technické údaje .....	21
3.2 Měření provozních vlastností .....	21
3.2.1 Měření nakrátko .....	21
3.2.2 Měření naprázdno.....	23
3.3 Měření momentové (mechanické) charakteristiky .....	25
4 Měření na motoru za použití vybraných metod.....	27
4.1 Přímé připojení na síť.....	27
4.2 Spouštění přepínačem hvězda-trojúhelník .....	27
4.3 Spouštění pomocí frekvenčního měniče .....	28
4.4 Spuštění pomocí softstartéru .....	31
4.5 Konečné vyhodnocení metod spouštění.....	33
Závěr .....	35
Seznam použité literatury.....	36



# Úvod

Asynchronní stroje patří mezi nejrozšířenější střídavé elektrické stroje. Tyto stroje mohou pracovat jako motory a přeměňovat tak elektrickou energii na mechanickou nebo jako generátory, které elektrickou energii vyrábějí přeměnou z mechanické energie. Jejich největší uplatnění je ve funkci motorů. Vyrábí se v širokém rozsahu výkonů od desítek W do tisíců kW. Používaná velikost napájecí frekvence střídavého proudu u těchto strojů je 50 Hz v ČR.

Asynchronní motory jsou jedny z nejvíce používaných elektrických pohonů, a to zejména pro svou konstrukční jednoduchost, spolehlivost a nenáročnost na údržbu. Z tohoto důvodu je možné se s nimi setkat zejména v průmyslu, ale také v domácnostech, kde slouží pro pohon chladniček, čerpadel, ventilátorů a dalších zařízení.

Na štítku každého asynchronního stroje udává výrobce hodnoty jmenovitého napětí, výkonu, účinnosti a odebíraného proudu ze sítě. Tohle jsou však hodnoty při jmenovitých otáčkách. Při roztáčení motoru z klidu na jmenovité otáčky (zapínání) se tyto veličiny mění. Nejvýrazněji se zapínáním projeví odebíraný proud ze sítě. Tzv.: záběrný proud může několikanásobně překročit proud jmenovitý a právě touto problematikou se zabývám ve své bakalářské práci. Nebudou však probrány všechny metody spouštění asynchronních strojů, ale pouze vybrané metody spouštění klecového asynchronního motoru. Komplexní rozbor spouštění asynchronních strojů by byl nad rámec bakalářské práce.

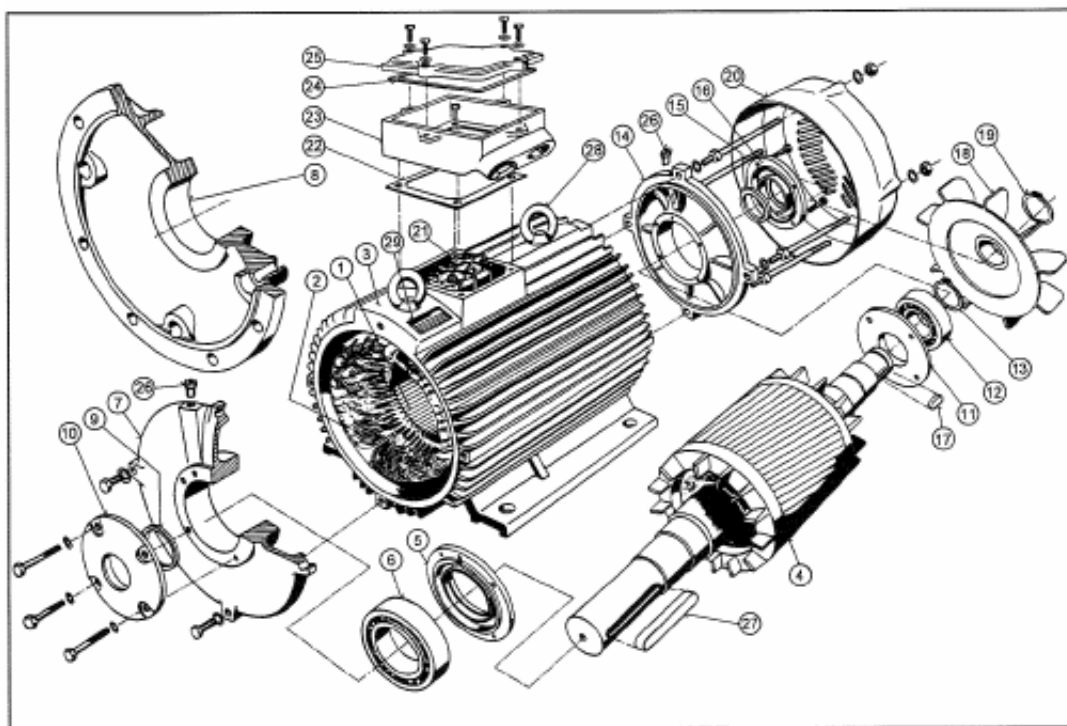
Práce je rozdělena celkově na čtyři základní části. V první části se zaměřuji na obecný rozbor samotného motoru, konstrukci, princip funkce, provozní stavy a problematiku záběrného proudu. V druhé kapitole popisuji teoreticky metody spouštění motorů a principy funkce jednotlivých spouštěčů. Další dvě části jsou již založeny na měření v laboratoři, nejdříve se zabývám měřením provozních vlastností zkoumaného motoru a zejména zjištěním záběrného proudu. V poslední části je provedeno praktické odzkoušení jednotlivých probraných metod spouštění a vyhodnocení jejich vlivu na záběrný proud.

# 1 Asynchronní motor

## 1.1 Konstrukce

Abychom získali přehled o jednotlivých konstrukčních částech asynchronního motoru, je na obrázku 1.1 zobrazen pohled na tento motor s kotvou na krátko v rozloženém stavu.

Význam hlavních pozic: **1** - magnetický obvod statoru, **2** - 3f vinutí statoru, **3** - kostra motoru, **4** - magnetický obvod rotoru s klecí nakrátko nalisovaný na hřídeli, **5** - ložiskové víčko zadní vnitřní, **6** - ložisko zadní, **7** - ložiskový štít zadní, **8** - přírubový ložiskový štít, **10** – ložiskové víčko zadní vnější, **11** - ložiskové víčko přední vnitřní, **12** - ložisko přední, **14** - ložiskový štít přední, **16** - ložiskové víčko přední vnější, **18** - ventilátor, **20** - kryt ventilátoru, **21** - svorkovnice, **23** - kryt svorkovnice, **24** - těsnění pod víko svorkovnice, **25** - víko svorkovnice, **26** - maznice, **27** - klín pro volný konec hřídele, **28** - závěsné oko, **29** - štítek. [1]

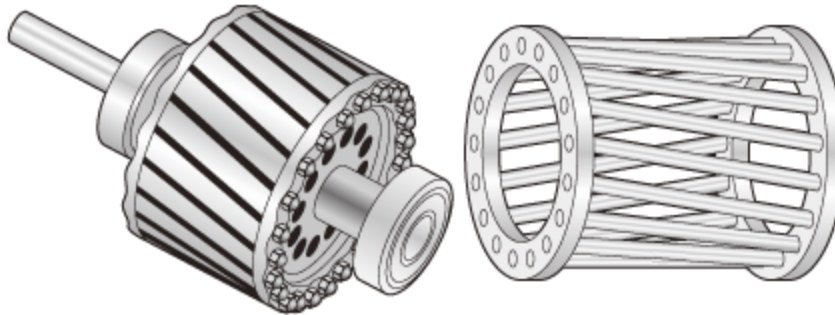


Obrázek 1.1: Rozložený asynchronní motor[1]

## 1.1.1 Rotor asynchronního stroje

### 1.1.1.1 S kotvou nakrátko

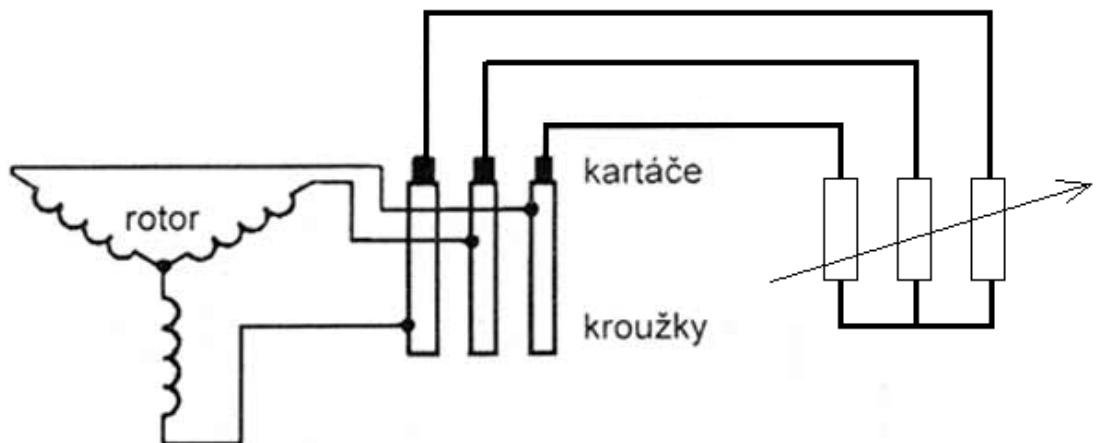
U motorů s kotvou nakrátko tvoří vinutí hliníkové tyče, které jsou umístěny v rotorových drážkách. Celé vinutí je odlito v jeden celek, který připomíná klec, proto se také někdy říká klecový motor. [2]



Obrázek 1.2: *Klecový rotor* [3]

### 1.1.1.2 Kroužkový

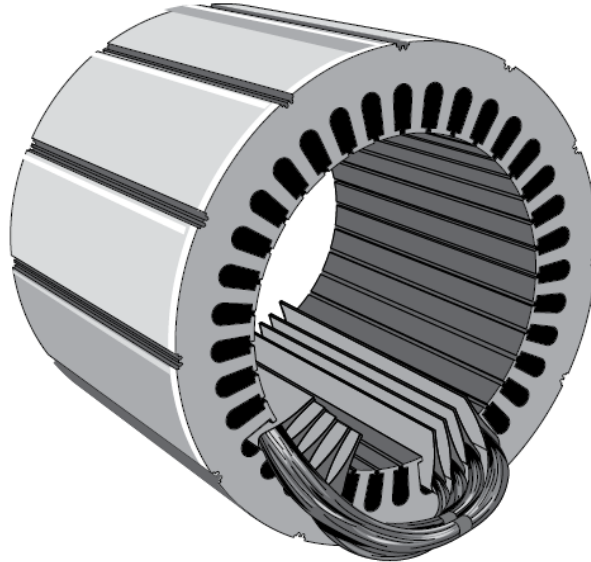
Kroužkové motory mají rotorové trojfázové vinutí navinuto z měděného vodiče. Toto vinutí je na jednom konci spojeno do hvězdy a druhé konce jsou vyvedeny na tři kroužky z vodivého materiálu (mosaz, bronz), které jsou izolovaně upevněny na hřídeli. Na kroužky dosedají uhlíkové kartáče umístěné v držácích a spojují je se svorkami motoru.[2]



Obrázek 1.3: *Princip kroužkového motoru*[3]

### 1.1.2 Stator asynchronního stroje

Stator je složen z plechů pro elektrotechniku ET (tzv. statorový svazek) a je po vnitřním obvodu vydrážkovaný. V drážkách je uloženo trojfázové statorové vinutí. [3]



Obrázek 1.4: *Stator*[3]

## 1.2 Princip funkce

Základní princip asynchronního stroje je založen na vzájemné elektromagnetické vazbě mezi státorem, který vytvoří točivé magnetické pole ve vzduchové mezeře a rotorem, do kterého se vlivem toč. magnetického pole indukuje napětí, a to pak protlačí proud. Vzhledem k tomu, že samotný princip je založen na indukci napětí a proudu do rotoru, se tento stroj nazývá indukčním strojem. [4]

Aby se však v rotorovém vinutí indukovala elektromotorická síla a protékal jím proud, musí existovat relativní pohyb rotoru vzhledem k točivému poli statoru. Proto jsou otáčky zatíženého motoru vždy o něco nižší než synchronní otáčky točivého pole, tedy asynchronní.

Pokles otáček při zatížení je malý a je závislý na velikosti zatížení. Pokles otáček se nejčastěji udává jako skluz  $s$ , přičemž

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad 1.1$$

### 1.3 Provozní stavy

Asynchronní stroj může pracovat jako motor, generátor nebo brzda. Změna jednotlivých pracovních stavů je plynulá. Pracovní stav asynchronního stroje nejlépe vyjadřuje skluz, a to jednak svojí velikostí a také znaménkem.

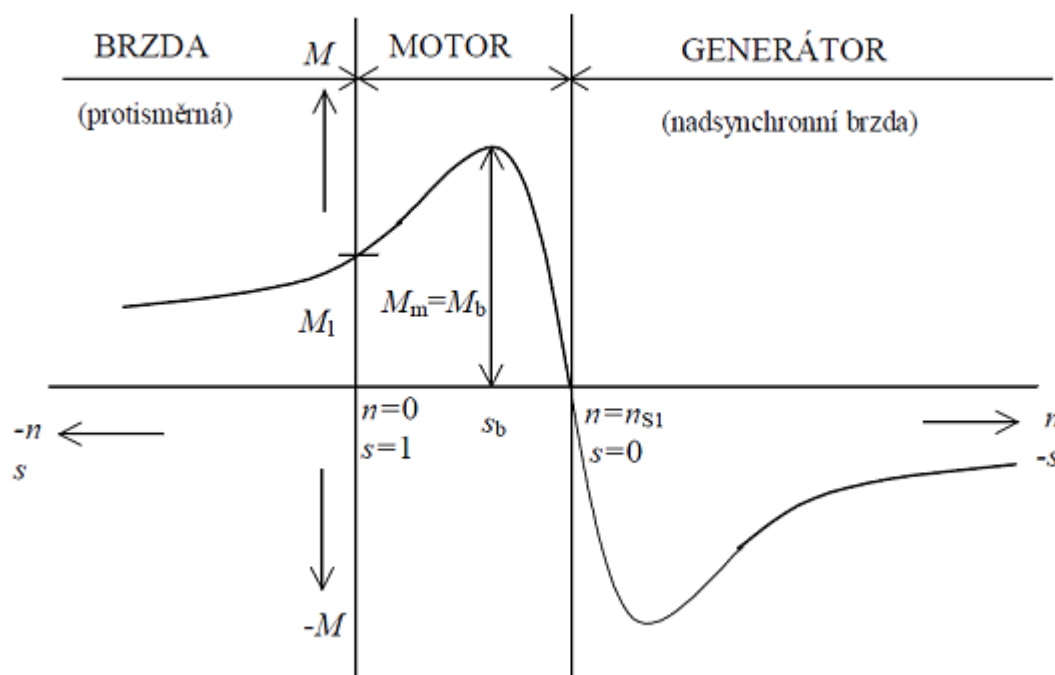
Nejprve uvažujme motorický režim, který se používá nejčastěji. Při motorickém režimu se skluz pohybuje v rozmezí od 0 do 1. Při skluzu  $s=0$  je asynchronní stroj na hranici mezi motorickým a generátorickým režimem a dosahuje synchronních otáček.

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad 1.2$$

Pokud je asynchronní stroj poháněn tak, že jeho otáčky jsou vyšší jako synchronní, pak bude skluz záporný. Indukované napětí změni smysl a elektrická energie bude dodávána zpět do sítě a stroj bude pracovat v generátorickém režimu. Aby stroj mohl takhle fungovat, musí mít ještě k dispozici zdroj magnetizačního proudu.

Poslední možnost, jak může asynchronní stroj fungovat je, že se hřídel otáčí proti směru točivého magnetického pole. V takovém případě je skluz  $s > 1$  a funguje jako asynchronní brzda. Asynchronní motor jako brzda však není běžným provozním stavem, jsou při něm 3násobné ztráty a velké mechanické rázy. Lze jej navodit pouze za určitých omezení, které by znamenaly mnohem hlubší studie problematiky.

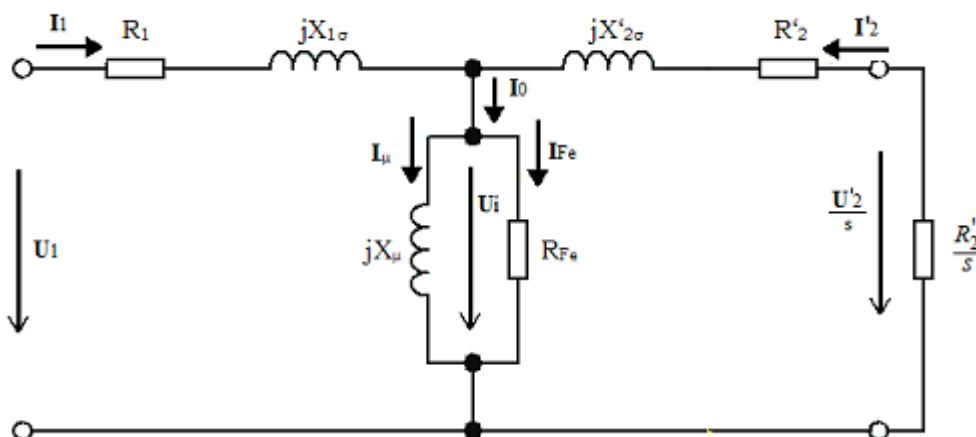
Znázornění všech provozních stavů je na obr. 1.5. [1]



Obrázek 1.5: Momentová charakteristika asynchronního stroje [4]

## 1.4 Náhradní schéma asynchronního motoru

Při tvorbě náhradního schématu asynchronního motoru můžeme vycházet z náhradního schématu transformátoru.



Obr 1.6 : Náhradní schéma asynchronního motoru

Pro rozptylovou a magnetizační reaktanci můžeme napsat:

$$\begin{aligned} X_1 &= X_{1\sigma} + X_\mu \\ X'_2 &= X'_{2\sigma} + X_\mu \end{aligned} \quad [3] \quad 1.3$$

Napěťové rovnice, které vyplývají z náhradního schématu.

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= (R_1 + jX_1) \cdot \underline{I}_1 + jX_\mu \cdot \underline{I}'_2 \\ \frac{\underline{U}'_2}{s} &= jX_\mu \cdot \underline{I}_1 + (R'_2 + jX'_2) \cdot \underline{I}'_2 \end{aligned} \quad [3] \quad 1.4$$

Uvedené schéma a rovnice jsou pro kroužkový motor. U klecového motoru je rotor spojen dokrátka a tím pádem by byl člen  $U_2=0$ . [3]

Oproti transformátoru se však asynchronní motor liší několika změnami. Sekundární obvod (rotor) má jiný počet fází. U kroužkových motorů je počet fází shodný, ale u klecového motorů tvoří každá tyč jednu fázi čili  $m_2 > 3$ . Dále nemůžeme zanedbávat příčnou větev, např. u měření na krátko, protože mezi primární a sekundární stranou je vzduchová mezera, která nám zapříčiní mnohem větší magnetizační proud a menší zkratový proud. Čím je mezera menší, tím menší je i magnetizační proud. Velikost vzduchové mezery se pohybuje kolem 0,2 až 2 mm podle výkonu stroje.[3][5]

## 1.5 Záběrný proud

Impedance motoru  $Z_z$  je v prvním okamžiku spouštění rovna impedanci  $Z_k$ , protože motor se nachází ve stavu nakrátko. Záběrný proud při přímém připojení na síť dosahuje 4-8 násobek jmenovitého proudu, proto jej musíme u větších motorů omezovat. Záběrný proud vypočteme podle rovnice 1.5.[6]

$$I_z = \frac{U_1}{Z_z}[6] \quad 1.5$$

Z rovnice 1.5 vyplývá, že záběrný proud zmenšíme buď snížením napětí  $U_1$ , nebo zvětšením impedance  $Z_k$ . (Zvětšit impedanci  $Z_k$  je možné pouze u kroužkového motoru.)[3]

## 2 Metody spouštění

Abychom omezili záběrný proud (kap. 1.5), musíme zvolit vhodný způsob spouštění motoru. Při výběru vhodné metody musíme brát v úvahu zejména potřebný záběrný moment, rychlost rozběhu na jmenovité otáčky anebo například plynulost rozběhu.

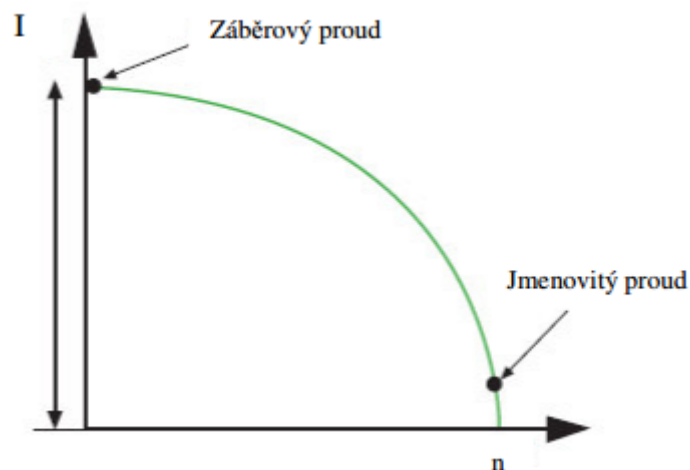
Protože v této bakalářské práci zkoumám klecový asynchronní motor, dále se budu zabývat pouze metodou spouštění klecových motorů.

### 2.1 Přímé připojení na síť

Přímé připojení motorů na síť je nejpoužívanější metodou. Uvádí se, že na sítích nn je možné připojovat přímo pouze motory do 3kW. Ve skutečnosti však záleží na tvrdosti sítě a blízko elektrárny lze přímo připojit i motory ve stovkách kW. [3][7] O možnostech připojení motoru do rozvodné sítě nízkého napětí pojednává norma ČSN 33 2190.

Jedná se o nejjednodušší možnost spouštění motoru, protože ve většině případů potřebujeme pouze stykač a tepelné relé, nebo motorový spouštěč. Výhodou motorového spouštěče je, že má zabudovanou jak nadproudovou ochranu, tak tepelnou. V některých případech se u menších výkonů stykač s ochranou vynechávají a motor se spouští pouze výkonovým vypínačem. [3][7]

Nevýhodou přímého připojení je, že nijak neomezíme záběrný proud, který je 4-7 násobek jmenovitého a špičkový proud může dosáhnout až 14-ti násobek jmenovitého. Hodnoty záběrného proudu závisí na velikosti motoru a zátěže. [7].

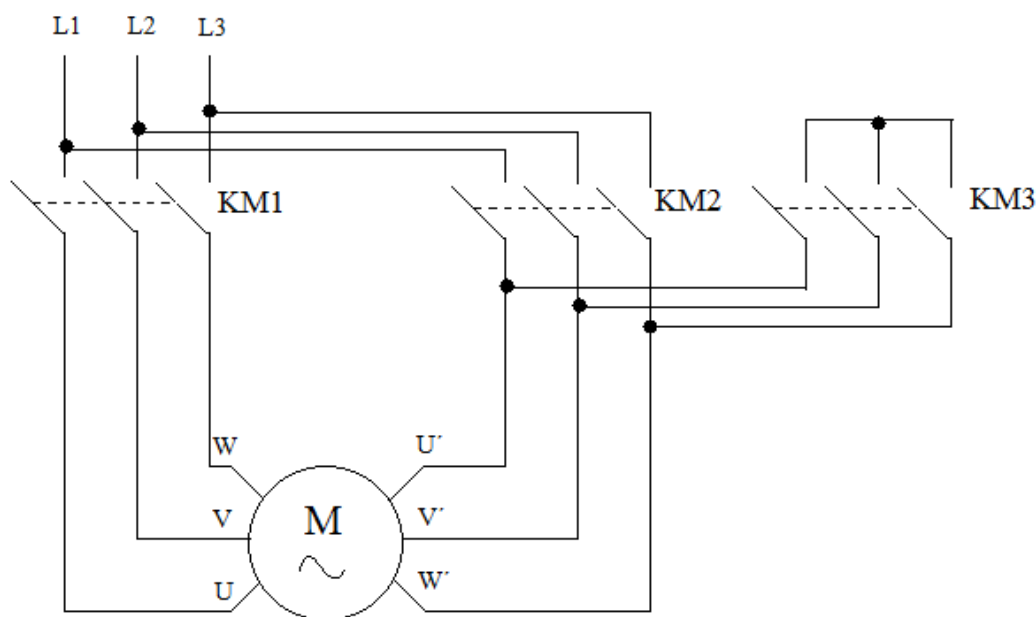


Obr. 2.1: Průběh proudu při přímém zapojení na síť[7]



## 2.2 Přepínač Y/D

Pro přepínání Y/D je potřeba, aby měl motor na svorkách vyvedené obě strany vinutí, tj. 6 svorek ve svorkovnici. Připojení se provede pomocí dvou trojžilových kabelů a tří stykačů, viz. obrázek 2.2. Motor se nejdříve rozbíhá v zapojení do hvězdy pomocí stykačů KM1 a KM3, po rozběhu na jmenovité otáčky se pomocí časového relé přepne do trojúhelníka pomocí stykačů KM1 a KM2. [7]



Obr. 2.2: Schéma zapojení přepínače Y/D

Tuto metodu je možné použít pouze pro rozběhy, které nevyžadují velký záběrný moment, např. ventilátory, čerpadla, okružní pila a podobně, protože se přepínačem nezmenší pouze záběrný proud, ale i záběrný moment. Záběrný proud klesne na 33% rozběhového proudu podle rovnice 3.3 a záběrový moment klesne také na 33% podle rovnice 2.4. V případě těžkých startů, například zatížený pásový dopravník, by záběrný moment nemusel být dostačující. [7]

Síťový proud v zapojení do Y

$$I_Y = \frac{U_S}{\sqrt{3} \cdot Z_N} \quad [3] \quad 2.1$$

Síťový proud v zapojení do D

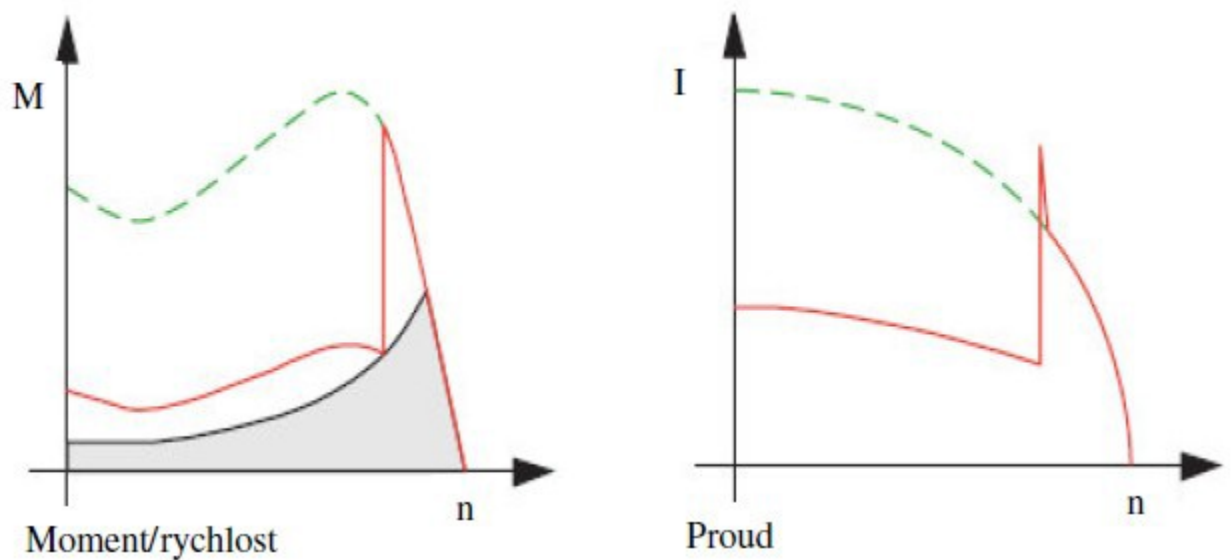
$$I_D = \frac{\sqrt{3} \cdot U_S}{Z_N} \quad [3] \quad 2.2$$

Odvození poměru proudu v zapojení Y/D

$$\frac{I_Y}{I_D} = \frac{\frac{U_S}{\sqrt{3} \cdot Z_N}}{\frac{\sqrt{3} \cdot U_S}{Z_N}} = \frac{U_S}{\sqrt{3} \cdot Z_N} * \frac{Z_N}{\sqrt{3} \cdot U_S} = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3}} = \frac{1}{3} \quad [3] \quad 2.3$$

Odvození velikosti momentu před přepnutím do D

$$\frac{U_D}{U_Y} = \frac{400}{690} = \frac{1}{\sqrt{3}} \rightarrow M \approx U^2 \rightarrow M \approx \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2 = \frac{1}{3} \quad [3] \quad 2.4$$



Obr. 2.3: Průběh momentu a proudu při přepnutí Y/D[7]

## 2.3 Spouštění pomocí měniče frekvence

Protože otáčky motoru jsou závislé na frekvenci, umožňuje frekvenční měnič regulovat otáčky motoru pomocí změny výstupní frekvence. Využití frekvenčního měniče je tedy, když je potřeba regulace rychlosti motoru během trvalého provozu. Však v mnoha aplikacích je frekvenční motor stále používán pouze jako prostředek k řízenému startu a zastavení navzdory skutečnosti, že není žádná potřeba regulace otáček motoru během provozu. Řízením výstupní frekvence dosahuje jmenovitý moment na hřídeli motoru vysokých hodnot i u nízkých otáček motoru. Rozběhový proud motoru je taktéž výrazně omezen a pohybuje se kolem 0,5-1 násobku proudu jmenovitého. U motoru můžeme tedy pomocí frekvenčního měniče docílit "dokonalého" startu i zastavení. [7]

V případě použití inkrementálního čidla u motoru, které reguluje frekvenční měnič, docílíme maximálního momentu i při nulových otáčkách motoru. Inkrementální čidlo zajišťuje zpětnou vazbu o přesných otáčkách motoru. [7]

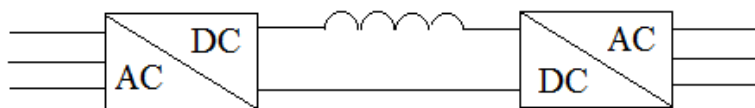
U frekvenčních měničů je nezbytné použití filtrů k redukci vyšších harmonických generovaných frekvenčním měničem. [7]

Frekvenční měniče se dělí podle funkce na přímé a nepřímé

### 2.3.1 Nepřímé měniče kmitočtu

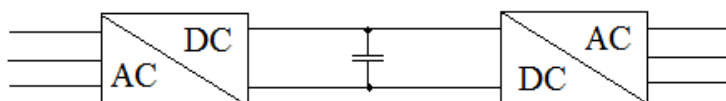
Nepřímý měnič kmitočtu se skládá ze tří částí, a to z usměrňovače, stejnosměrného meziobvodu a střídače. Z uspořádání jednotlivých bloků vyplývá, že se přivedený proud nejdříve usměrní a poté se znovu nastřídá pomocí řízených polovodičových prvků, proto se nazývá nepřímý.

Nepřímé měniče se dále dělí podle měněné veličiny na měniče proudu a napětí. Nepřímý měnič proudu obsahuje ve stejnosměrném obvodu tlumivku, která téměř dokonale vyhladí proud pro následné nastřídání na  $f_2$ . Usměrňovač bývá nejčastěji řízený v můstkovém zapojení. Střídač je řízený a řízení se používá nejčastěji pulsně šířkové, nebo také obdélníkové.



Obr. 2.5: Blokové schéma nepřímého měniče proudu

Mnohem častěji než proudové měniče se však používají napěťové. Napěťový měnič má ve stejnosměrném meziobvodu kondenzátor pro vyhlazení napětí a zároveň slouží jako zátěž pro usměrňovač, který je v tomto provedení neřízený. Použití neřízeného usměrňovače je ekonomicky mnohem výhodnější. Kondenzátor zároveň slouží jako zdroj pro střídač. Střídač je složený z IGBT tranzistorů pro malé výkony a pro větší výkony z GTO tyristorů.



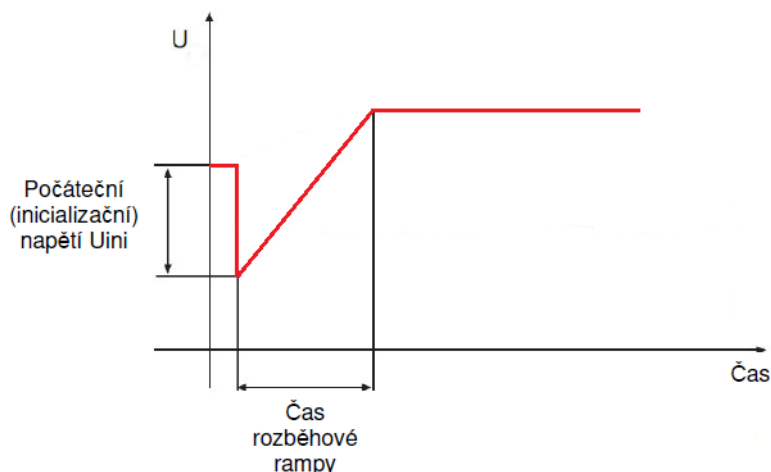
Obr. 2.6: Blokové schéma nepřímého měniče napětí

### 2.3.2 Přímé měniče kmitočtu

Přímé měniče kmitočtu mění rovnou z  $f_1$  na  $f_2$  bez jakéhokoliv meziobvodu, proto přímé. Mají však daleko menší uplatnění než nepřímé. Je to způsobeno zejména tím, že výstupní kmitočet je daleko menší než vstupní (zpravidla poloviční, nebo i menší). Dynamika těchto měničů je podstatně menší, než například u napěťových nepřímých a z důvodu velkého počtu tyristorů se hodí spíše pro velké výkony. Používají se zejména pro řízení synchronních motorů s budícím vinutím, které jsou používány u pomaloběžných strojů velkých výkonů.

### 2.4 Spouštění pomocí softstartéru

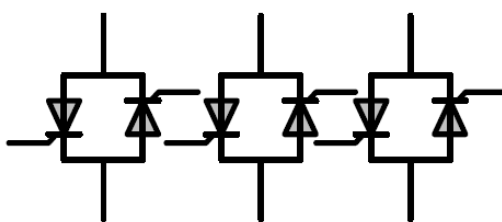
Softstartér je elektronický přístroj složený ze dvou antiparalelně zapojených tyristorů v každé fázi (obrázek 2.8) a slouží nám k plynulému rozběhu a zastavení motoru. Plynulý rozběh je zajištěn tak, že můžeme postupně zvyšovat napětí od nuly až do jmenovitého po náběžné rampě, kterou si sami zvolíme. Se sníženým napětím se sníží také moment na hřídeli a záběrný proud. Nevýhodou je, že při nulové napětí je i moment nulový, a to by mohlo znamenat, že se motor neroztočí v případě, že potřebujeme pro rozjezd maximální moment hned od začátku. V takovém případě je možnost použít funkci tak zvaného kick-startu, kdy se do motorů pustí napěťový impuls, který slouží k „utržení“ zátěže, potom napětí klesne a vzrůstá znovu po nastavené náběžné hraně viz obrázek 2.7.[9][3]



Obr. 2.7: Rozběh po napěťové rampě s využitím tzv. kick-startu[3]

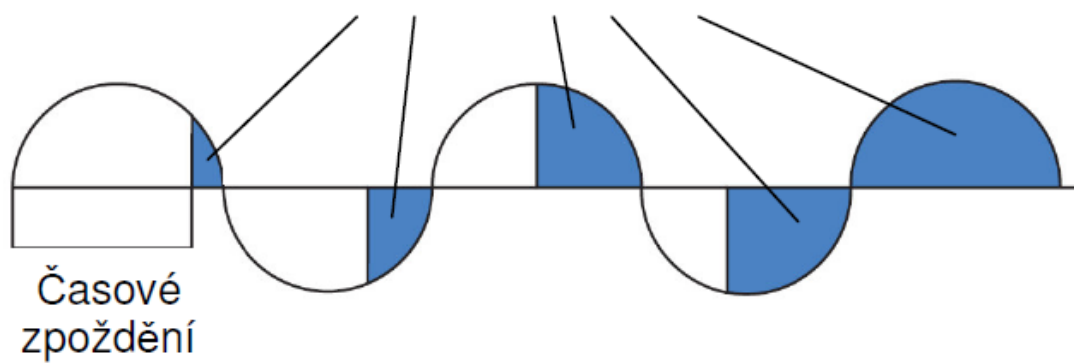
Plynulý rozběh pomocí softstartéru se používá nejen v případě, kdy chceme snížit záběrný proud, ale zejména v případě, kdy chceme snížit záběrný moment. Záběrný moment potřebujeme snižovat tam, kde by vysoký záběrný moment způsoboval trhání, rázy a jiné mechanické problémy. Použití softstartéru je výhodné například u ventilátorů a čerpadel, kde snižuje rázy na hřídel nebo u rozběhu plných pásových dopravníků, kde by mohlo dojít k přetržení pásu či rázům v převodovce. [9][7]

Princip funkce softstartéru je, že postupným spínáním tyristorů mění efektivní hodnota napětí v každé fázi, jak je patrné z obrázku 3.9. Při provozu po rozběhnutí jsou potom všechny tyristory plně otevřené. [9]



Obr. 2.8: *Anti-paralelní zapojení tyristorů.*[9]

Tyristor otevřen



Obr. 2.9: *Princip regulace napětí pomocí tyristorů*[9]

## 3 Zkoumaný asynchronní motor

### 3.1 Technické údaje

Štítek měřeného motoru:

- Výrobce: neznámý
- Typ: 4AP122M4
- Počet fází: 3f
- Jmen. výkon: 4kW
- Jmen. napětí:  $\Delta 380V$
- Jmen. proud: 8,7A
- Jmen. otáčky: 1440 ot/m
- Výrobní číslo: M1081
- Fázový odpor:  $3,95\Omega$

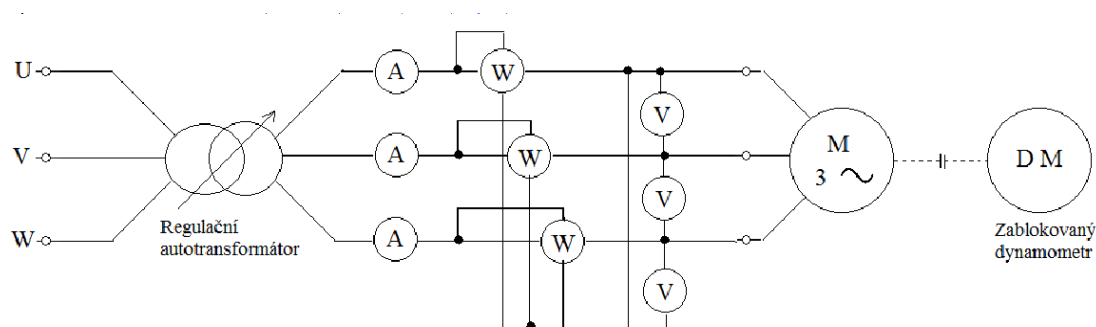
### 3.2 Měření provozních vlastností

#### 3.2.1 Měření nakrátko

Měření nakrátko se využívá pro zjištění ztrát v mědi (nakrátko)  $\Delta P_k$  a účinníku nakrátko  $\cos\phi_k$ . [3]

Při měření nakrátko je rotor stroje zabrzděn a napájecí napětí snížíme na takovou hodnotu, aby proud odebíraný motorem nepřesáhl hodnotu  $1,2 I_N$ . Kdybychom nesnížili napětí, tak by byl proud odebíraný motorem přibližně roven zkratovému proudu a mohlo by dojít ke zničení motoru. Charakteristiky budou téměř lineární, a proto nám stačí změřit přibližně 6-8 hodnot. [5]

#### Měření:



Obrázek 3.1.: Schéma zapojení pro měření nakrátko

Tabulka 3.1: Naměřené a vypočtené hodnoty pro chod nakrátko

$U_k$ [V]	$I_k$ [A]	$P_k$ [W]	$\cos\varphi_0$
96	10	840	0,51
89	9	690	0,5
86	8,7	650	0,5
80	8	560	0,51
71	7	430	0,5
63	6	340	0,52

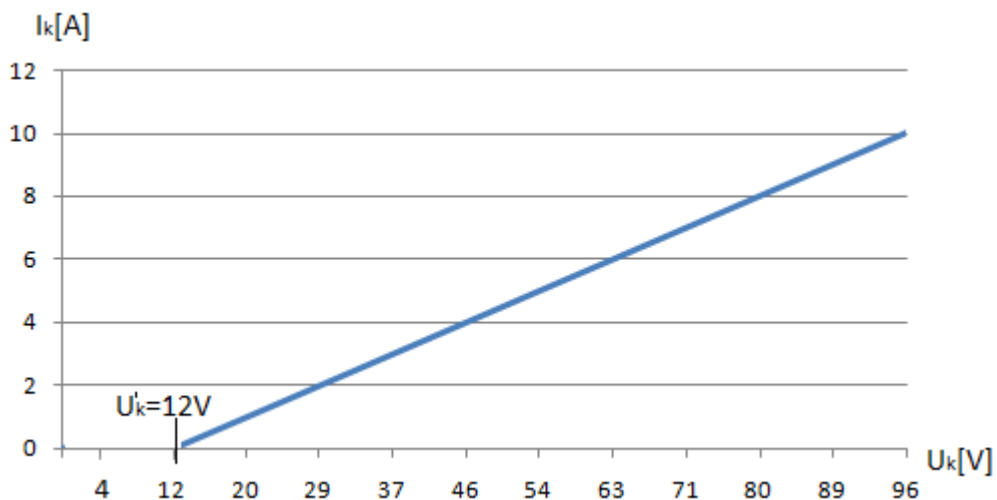
Výpočet účinníku nakrátko, procentuálního napětí nakrátko

$$U_{K(\%)} = \frac{U_K}{U_N} \cdot 100 = \frac{84}{380} \cdot 100 = 22,11 \% \quad 3.1$$

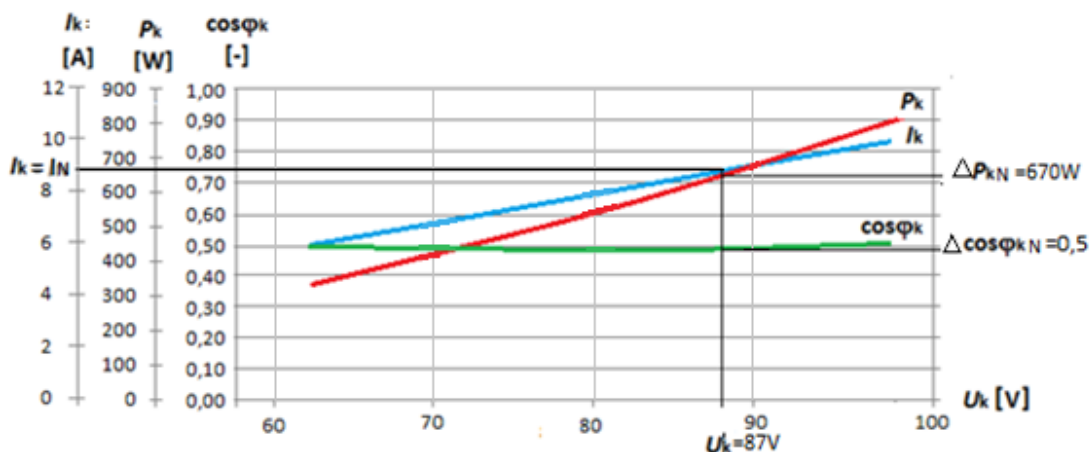
$$\cos \varphi_K = \frac{P_K}{3 \cdot U_K \cdot I_K} = \frac{560}{\sqrt{3} \cdot 80 \cdot 8} = 0,51 \quad 3.2$$

Jak již bylo řečeno, měření nakrátko se provádí při sníženém napětí, aby statorem procházel proud  $I_K$  odpovídající jmenovitému (štítkovému) proudu  $I_N$ . Pro získání velikosti proudu  $I_{KN}$ , který by protékal statorem při jmenovitém napětí stroje  $U_N$ , je nutné provést přepočít podle vzorce 3.3, přičemž získání hodnoty  $U'_K$  je patrné z grafu 3.2

$$I_{KN} = I_K \cdot \frac{U_N - U'_K}{U_K - U'_K} = 8,7 \cdot \frac{380 - 12}{86 - 12} = 43,26 A \quad 3.3$$



Obrázek 3.2.: Určení proudu nakrátko s uvažováním magnetizačního sycení



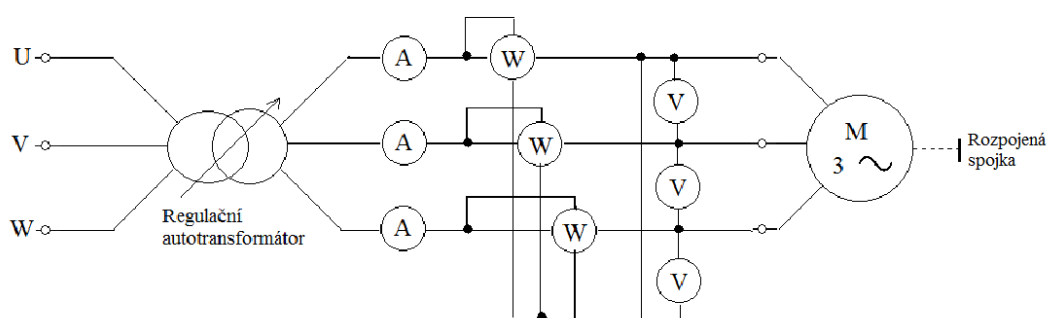
Obrázek 3.3.: Vykreslení výkonu, proudu a účinníku nakrátko a vyznačení jmenovitých hodnot.

### 3.2.2 Měření naprázdno

Měření naprázdno se využívá pro zjištění ztrát v železe  $\Delta P_{Fe}$  a mechanických ztrát  $\Delta P_{mech.}$ . Dále se využívá pro zjištění proudu naprázdno  $I_0$  a účinníku naprázdno  $\cos\varphi_0$ . [3]

Při měření naprázdno není na hřídeli nic připojeno, čili oproti měření nakrátko je motor zcela bez zátěže. Při měření se nastavuje napětí od  $1,2 \cdot U_N$  do přibližně  $0,3 \cdot U_N$ . Měření se provádí, dokud nám s klesajícím napětím klesá i proud naprázdno  $I_0$ . Jakmile začne proud  $I_0$  stoupat, měření ukončíme. Všechny naměřené hodnoty se vynesou do grafu a určí se pracovní bod pro jmenovitou hodnotu  $U_N$

#### Měření:



Obrázek 3.4.: Schéma zapojení pro měření naprázdno



Tabulka 3.2: Naměřené a vypočtené hodnoty pro chod naprázdno-vybrané hodnoty

$U_0$ [V]	$I_0$ [A]	$P_0$ [W]	$\cos\varphi_0$	$P_{CU}$ [W]	$\Delta P_0$ [W]
418,41	5,57	419	0,1	183,6	235,4
380	4,11	305	0,11	100	204,7
339	3,15	234	0,13	58,6	175
302,53	2,58	193	0,14	39,3	153,3
260,85	2,08	158	0,17	25,6	132
219,48	1,67	127	0,2	16,6	110,6
180,01	1,33	104	0,25	10,4	93,2
141,15	1,03	84	0,34	6,3	78
99,77	0,79	71	0,52	3,7	67

Výpočet účinníku naprázdno, ztrát naprázdno a ztrát v mědi:

Ztráty v mědi:

$$\Delta P_{CU} = 1,5R_f \cdot I_0^2 = 3 \cdot 3,95 \cdot 4,11^2 = 100,037 \text{ W} \quad 3.4$$

Ztráty naprázdno:

$$\Delta P_0 = P_0 - \Delta P_{CU} = 305 - 100,037 = 204,66 \text{ W} \quad 3.5$$

Mechanické ztráty odečtené z obrázku 3.6:

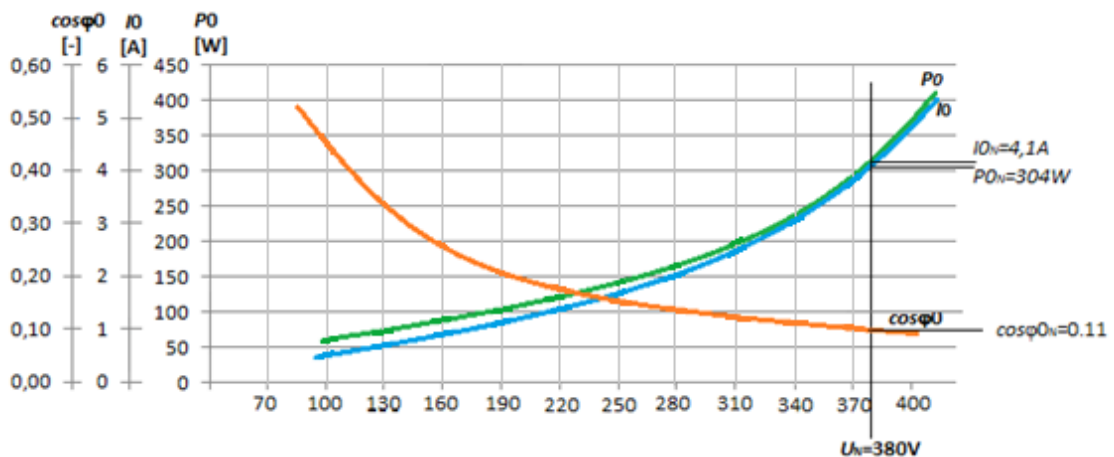
$$\Delta P_{mech} = 40 \text{ W}$$

Výpočet ztrát v železe:

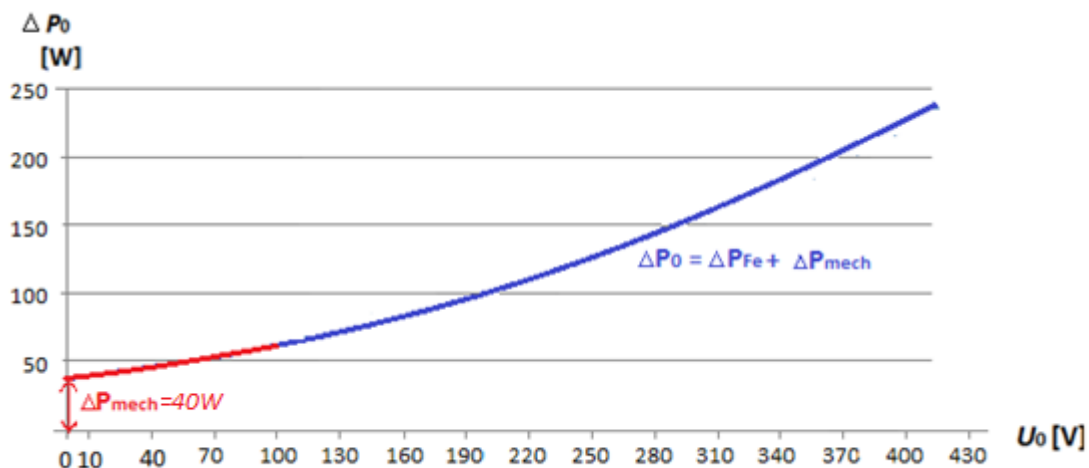
$$\Delta P_{Fe} = \Delta P_0 - \Delta P_{mech} \quad 3.6$$

Účinník naprázdno:

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot U_0 \cdot I_0} = \frac{305}{\sqrt{3} \cdot 380,27 \cdot 4,11} = 0,11 \quad 3.7$$



Obrázek 3.5.: Vykreslení výkonu, proud a účinníku naprázdno a vyznačení jmenovitých hodnot.



Obrázek 3.6.: Vykreslení ztrát naprázdno

### 3.3 Měření momentové (mechanické) charakteristiky

Měření momentové charakteristiky provádíme, abychom zjistili závislost mechanického momentu  $M$  na skluzu  $s$ , nebo v našem případě na otáčkách  $n$ . Z momentové charakteristiky poté určíme maximální moment (moment zvratu)  $M_{\max}$  a velikost záběrného momentu  $M_{\text{zab}}$ . [3]

Pro měření momentu se používá stejné zapojení, jako pro měření nakrátko, ale dynamometr je odbrzděný, nastavuje se zátěž a odečítají otáčky. Změřit celou charakteristiku však není možné při jmenovitém napětí, protože by došlo ke zničení motoru. Abychom byli schopni změřit větší část charakteristiky, musíme snížit napětí na svorkách motoru. Měření bylo provedeno pro napětí  $U=190\text{V}$  a následně byl moment přepočítán pro plné napětí  $U_N=380$  podle vzorce:

$$M = M' * \left(\frac{U_N}{U}\right)^2 \quad 3.8$$

Jmenovitý moment motoru se vypočte pomocí rovnice:

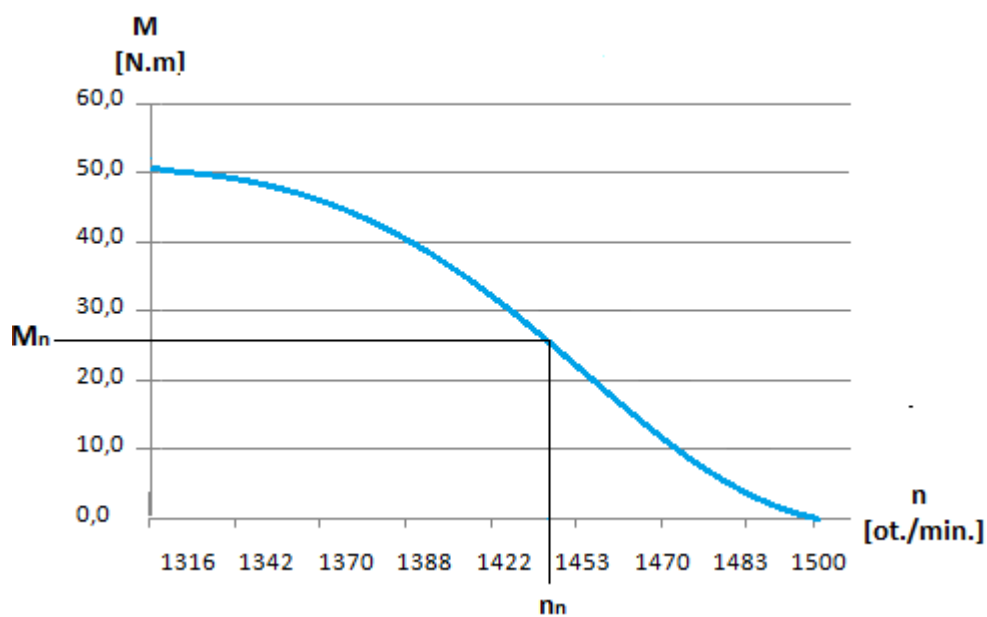
$$M_N = \frac{P}{\omega} = \frac{4000}{150,8} = 26,53\text{Nm} \quad 3.9$$

kde:

$$\Omega = \frac{2*\pi*n_n}{60} = \frac{2*\pi*1440}{60} = 150,8 \text{ rad/s} \quad 3.10$$

Tabulka 3.3: Naměřené a vypočtené hodnoty momentu motoru.

	$U=190V$	$U_N=380V$
$n$	$M'$	$M$
ot*min	Nm	Nm
1500	0	0,0
1483	2	7,8
1470	3,5	13,6
1453	5	19,5
1422	8	31,2
1388	10	39,0
1370	11	42,8
1342	12	46,7
1316	12,5	48,7



Obrázek 3.7: Změřená část momentové charakteristiky s vyznačením jmenovitých hodnot.

## 4 Měření na motoru za použití vybraných metod

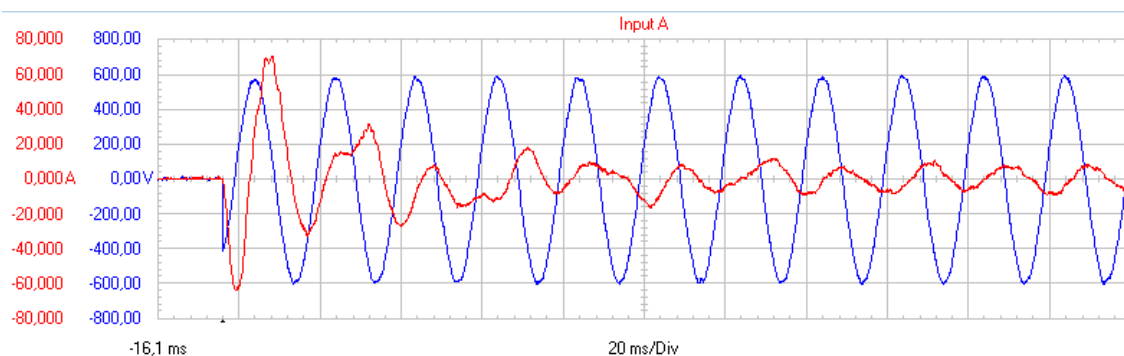
Veškeré měření bylo prováděno v laboratoři elektrických strojů E223 na VŠB. Zkoumaný motor je popsán v kap. 3 a byl spouštěn bez zátěže (rozpojená spojka). Pro ovládání a jištění motoru byly použity vývody z laboratorního pultu. Níže uvedené průběhy jsou vykresleny pomocí programu FlukeWiev, který slouží k vyobrazení záznamu z osciloskopu FLUKE 199C.

### 4.1 Přímé připojení na síť

Přímé připojení na síť bylo provedeno pomocí stykače se samodržkou a dvojtlačítka umístěného v ovládacím pultu. Záznam napětí a proudu při zapnutí je vyneseno na obrázku 1.4. Na záznamu je největší hodnota proudu vidět až při druhé půlkně, protože došlo k sepnutí při sestupné hraně napětí. Maximální odečtená hodnota proudu z grafu je  $I_{\max}=70A$  a přepočtena na efektivní hodnotu podle vzorce:

$$I_{ef} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{70}{\sqrt{2}} = 49,5A \quad 4.1$$

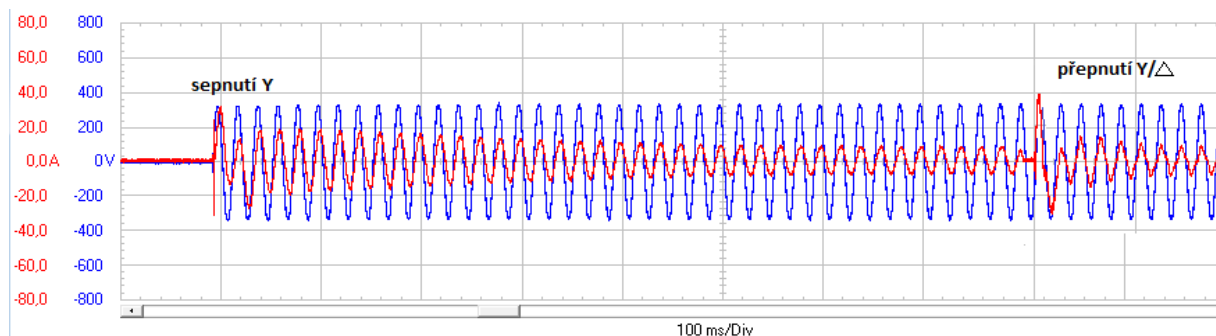
Vypočtený záběrný proud v kapitole 3 vyšel:  $I_{zab}=43,3A$ .



Obrázek 4.1: Průběh napětí a proudu při přímém připojení k síti.

### 4.2 Spouštění přepínačem hvězda-trojúhelník

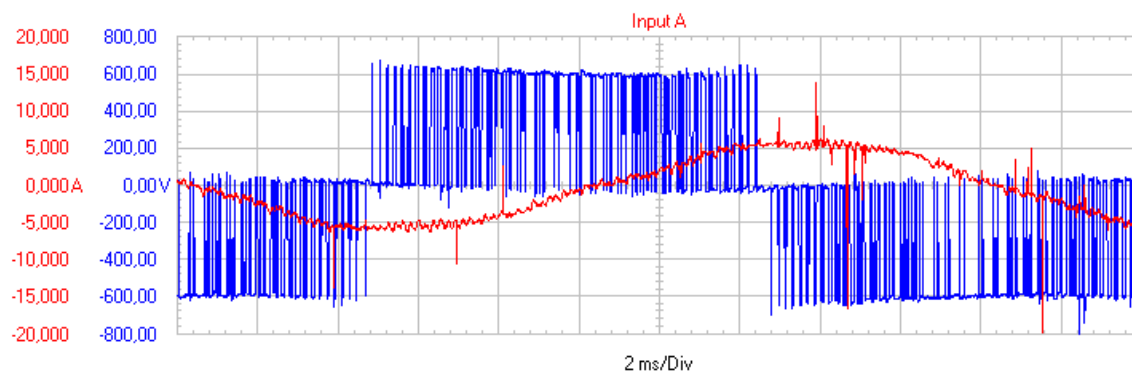
Přepínání je provedeno pomocí tří stykačů, časového relé a dvojtlačítka zapojeno podle schématu na obrázku: 2.2. Na obrázku 4.2 je vidět ideální průběh přepnutí. Nejdříve se motor sepne v zapojení do "Y" a po ustálení proudu dojde pomocí časového relé k přepnutí do "D". Při spouštění pomocí přepínače Y/D by měl teoreticky klesnout záběrný proud na 33% hodnoty proudu na krátko. Ze záznamu lze vyčíst, že při sepnutí do "Y" dosahuje první půlkně amplitudy  $I_{\max}=30A \Rightarrow I_{ef}=21,31A$ , což odpovídá 49% záběrného proudu při přímém připojení na síť. K přepnutí do "D" došlo při průchodu napětí nulou při náběžné hraně, proto  $I_{\max}=40A \Rightarrow I_{ef}=28,28A$ , což je 65% záběrného proudu při přímém připojení k síti.



Obrázek 4.2: Průběh napětí a proudu při spuštění přepínačem Y/D

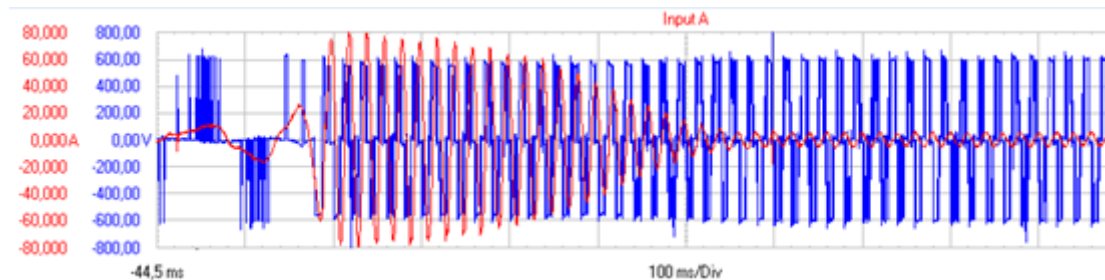
### 4.3 Spuštění pomocí frekvenčního měniče

Jak je patrné z obrázku 4.3, tak frekvenční měnič nemá na výstupu hladký sinusový průběh, ale obdélníkový průběh vytvořený pomocí pulsně šířkové modulace (PWM). V tomhle případě se jedná o již rozběhnutý motor ve stavu naprázdno, tudíž hodnoty napětí, proudu a frekvence na obrázku jsou jmenovité hodnoty naprázdno a jedná se pouze o ukázkou principu funkce frekvenčního měniče.



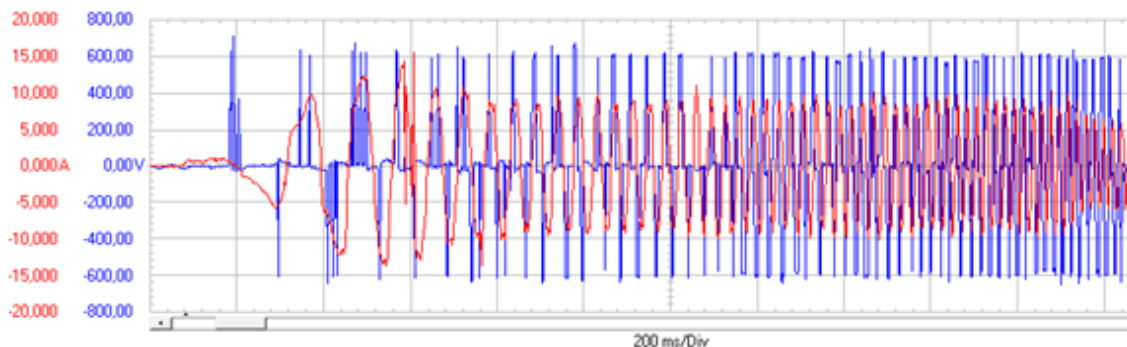
Obrázek 4.3: průběh napětí a proudu při chodu přes frekvenční měnič

Na obrázku 4.4 je vyobrazen průběh napětí a proudu v případě, že je špatně nastavený čas rozběhu. Na frekvenčním měniči byla nastavena doba rozběhu 0,1s. Během téhle doby se postupně zvětšovala frekvence a záběrný proud nepřesáhl hodnotu 10A. Po uplynutí nastavené doby rozběhu frekvenční měnič začal napájet motor plným napětím o kmitočtu 50Hz a záběrný proud okamžitě vzrostl na hodnotu  $I_K$ , protože motor ještě nebyl roztočený na jmenovité otáčky. V takovémto případě použití frekvenčního měniče ztrácí význam.



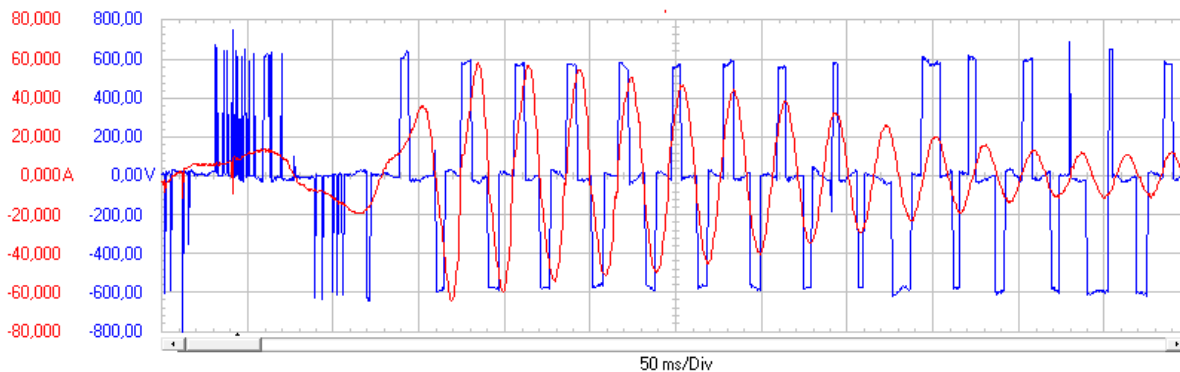
Obrázek 4.4: Průběh napětí a proudu při rozběhu pomocí frekvenčního měniče bez omezení záběrného proudu a časem rozběhu 0,1s

Na obrázku 4.5 je vyobrazený průběh napětí a proudu při spuštění motoru pomocí frekvenčního měniče s nastavenou dobou rozběhu 3s bez omezení záběrného proudu. Z grafu je zřejmé, že se motor stihne bez problému rozběhnout na jmenovité otáčky a během rozběhu nepřekročí proud hodnotu proudu  $I_{ef} = 10,6A$ . Jedná se však o nezatížený motor, kdyby byl motor zatížený velkým momentem, tak nebude doba rozběhu dostačující a záběrný proud by dosáhl větších hodnot, jako v předchozím případě.



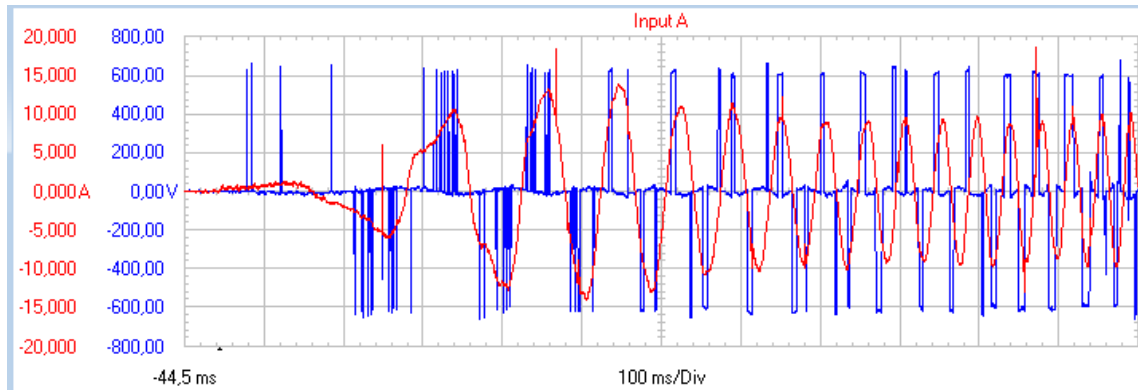
Obrázek 4.5: Průběh napětí a proudu při rozběhu pomocí frekvenčního měniče bez omezení záběrného proudu a časem rozběhu 3s.

Na obrázku 4.6 je zobrazen průběh napětí a proudu při rozběhu přes frekvenční měnič za čas 0,1s s omezením proudu. Podobně jako u obrázku 4.4 se za 0,1s motor neroztočí na jmenovité otáčky. V tomto případě je ale nastaveno na frekvenčním měniči omezení proudu, kterého frekvenční měnič docílí zúžením napěťového impulzu, jak je patrné z vykresleného průběhu.



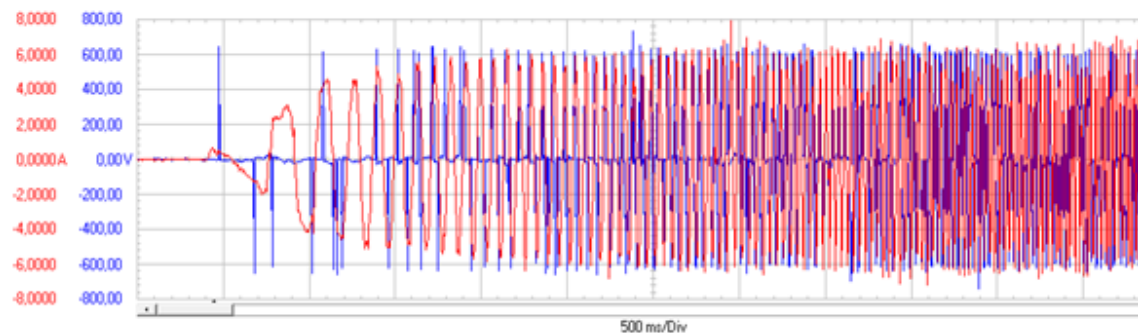
Obrázek 4.6: Průběh napětí a proudu při rozběhu pomocí frekvenčního měniče s omezením záběrného proudu a časem rozběhu 0,1s

Na obrázku 4.7 je vyobrazen rozběh motoru přes frekvenční měnič za čas 3s a s omezením proudu na max 31A. V tomhle případě je omezení proudu zbytečné, protože motor není zatížen a rozběhne se dříve, než za 3s. Kdyby byl motor při rozběhu zatížený, tak se omezení proudu projeví podobně jako u průběhu 4.6.



Obrázek 4.7: Průběh napětí a proudu při rozběhu pomocí frekvenčního měniče s omezením záběrného proudu a časem rozběhu 3s.

Na obrázku 4.8 je znázorněn průběh napětí a proudu při spouštění pomocí frekvenčního měniče s omezením proudu a časem rozběhu 10s. Pro tenhle konkrétní rozběh je doba rozběhu zbytečně dlouhá, protože se motor roztočí na jmenovité otáčky daleko dříve. Dlouhá doba rozběhu je vhodná pro těžší rozběhy, jak již bylo zmíněno výše.

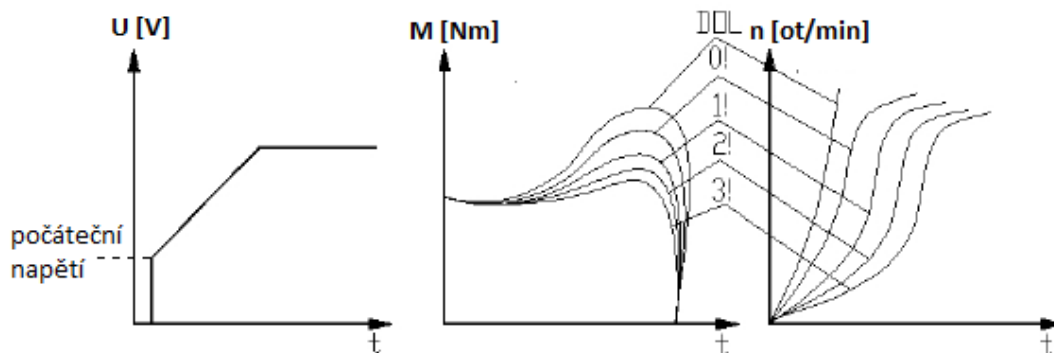


Obrázek 4.8: Průběh napětí a proudu při rozběhu pomocí frekvenčního měniče s omezením záběrného proudu a časem rozběhu 10s.

#### 4.4 Spuštění pomocí softstartéru

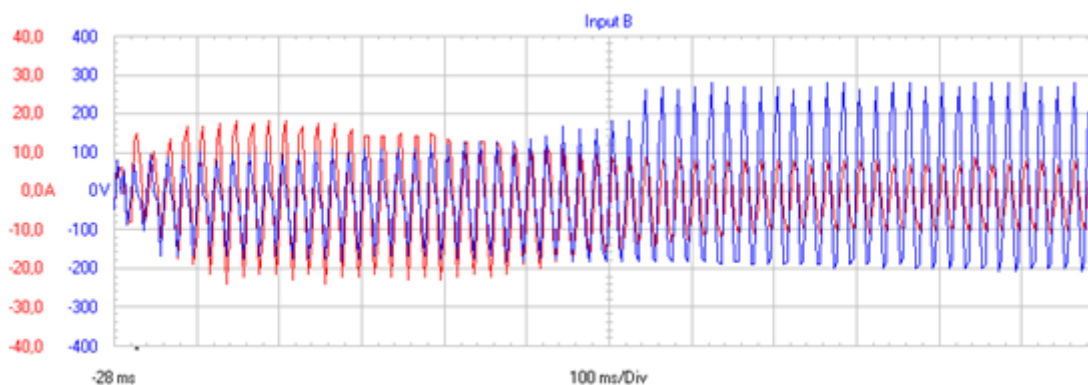
Motor byl ve všech případech spouštěn pomocí softstartéru SOLCON RVS-DX.

Softstartér na rozdíl od frekvenčního měniče neroztáčí motor pomocí změny frekvence, ale mění amplitudu napětí na svém výstupu. Pro rozběh si můžeme vybrat z několika typů náběžných ramp pro otáčky a pro moment. Dále můžeme volit různou dobu rozběhu na jmenovité otáčky a také velikost počátečního napětí. Možnosti nastavovaných hodnot jsou znázorněny na obrázku 4.9.



Obrázek 4.9: Způsoby možného nastavení hodnot pro rozběh motoru. [7]

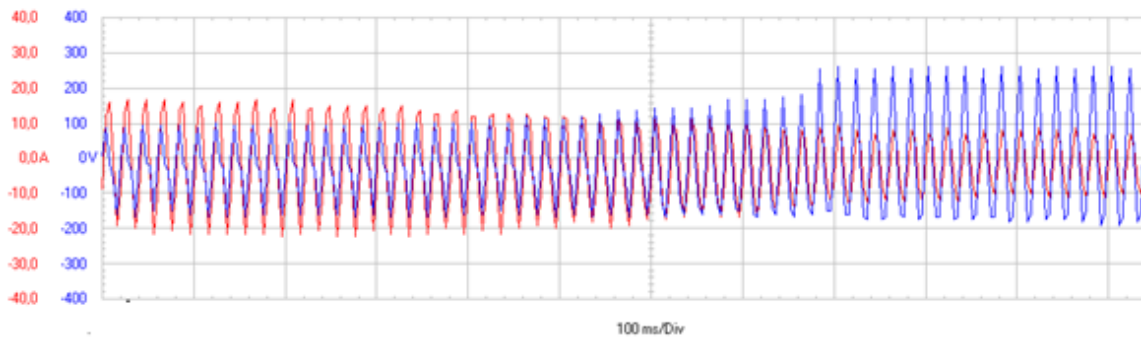
Na obrázku 4.10 je vyobrazen průběh napětí a proudu pro dobu rozběhu 1s a nastavené počáteční napětí na 20% jmenovitého. Z grafu lze vyčíst, že napětí skutečně roste z hodnoty 20%  $U_N$  až na jmenovitou hodnotu a zároveň proud postupně klesá, přičemž záběrný proud nepřesáhne hodnotu  $15A_{ef}$ .



Obrázek 4.10: Průběh napětí a proudu při spouštění pomocí softstartéru s nastavením 20%  $U_N$  a dobou rozběhu 1s.

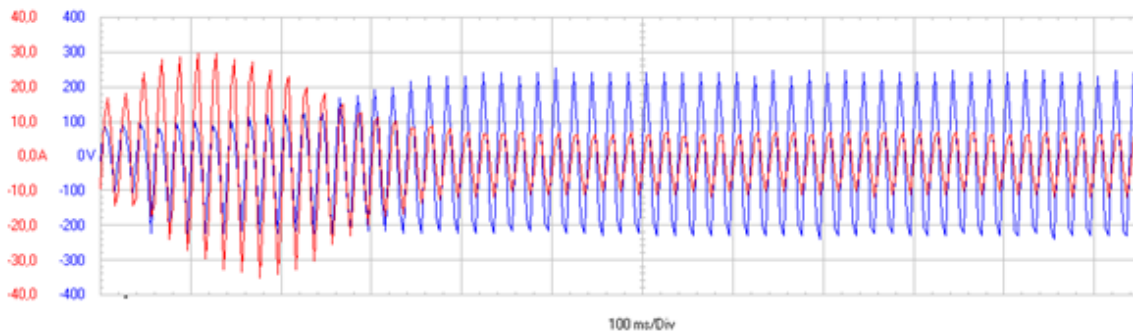


Na obrázku 4.11 je zobrazen průběh napětí a proudu při nastavené době rozběhu 10s a počátečním napětím 20%  $U_N$ . Průběhy jsou dosti podobné jako u obrázku 4.10, pouze je nárůst napětí plynulejší.



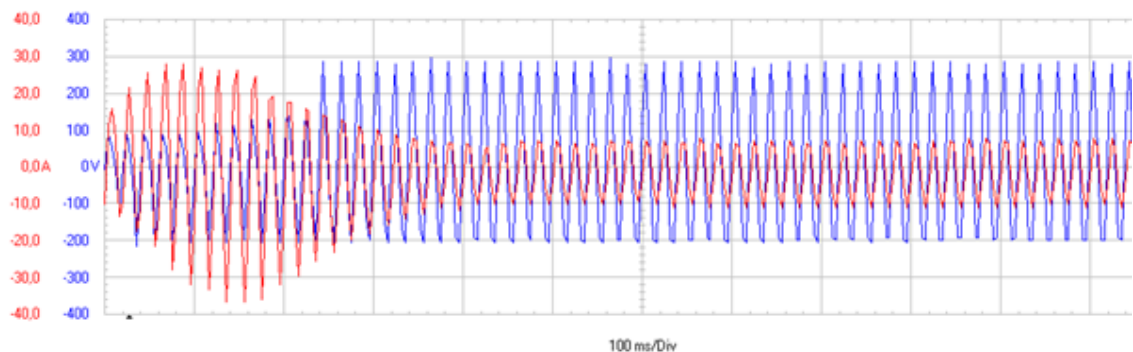
Obrázek 4.11: Průběh napětí a proudu při spouštění pomocí softstartéru s nastavením 20%  $U_N$  a dobou rozběhu 10s.

Na obrázku 4.12 jsou vykresleny průběhy napětí a proudu pro 50%  $U_N$  a dobu rozběhu 1s. Při takhle krátké době rozběhu se nepodaří zcela omezit záběrný proud, který dosahuje ve svém maximu  $I_{\max}=30\text{A}\Rightarrow I_{\text{ef}}=21,21\text{A}$ , což je přibližně trojnásobek jmenovitého proudu.



Obrázek 4.12: Průběh napětí a proudu při spouštění pomocí softstartéru s nastavením 50%  $U_N$  a dobou rozběhu 1s.

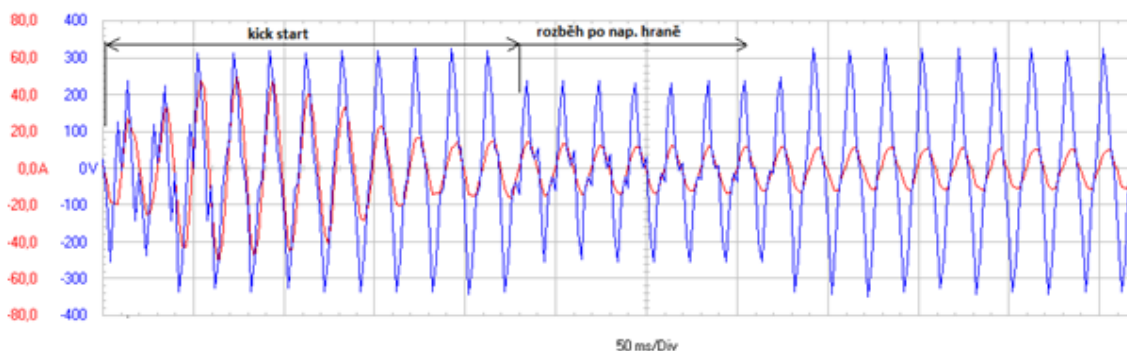
Na obrázku 4.13 je zobrazen průběh napětí a proudu při hodnotě 50%  $U_N$  a době rozběhu 10s.



Obrázek 4.13: Průběh napětí a proudu při spouštění pomocí softstartéru s nastavením 50%  $U_N$  a dobou rozběhu 10s.

## Rozběh s využitím kick-startu

Na obrázku 4.14 je vyznačen počáteční napěťový impuls, tzv. kick-start, který slouží k „utržení“ motoru. Po odeznění napěťového impulsu klesne napětí na nastavenou hodnotu a rozběh pokračuje po napěťové rampě, jako v předchozích situacích. Podrobný popis funkce kick-start je uveden v kapitole 2.4.



Obrázek 4.14: Průběh napětí a proudu při spouštění pomocí softstartéru s využitím kick-startu

## 4.5 Konečné vyhodnocení metod spouštění

Zvolený motor se pohybuje na hranici maximálního možného výkonu, který lze přímo připojit na síť. Při použití této metody vyšel měřený záběrný proud 49,5A, což je poměrně velký proud a přímé připojení na síť bych na vzdory nízkým finančním nákladům v tomhle případě nepoužil. Druhým, ne moc finančně náročným způsobem spouštění je přepínač Y/D, v tomhle případě se podařilo snížit záběrný proud na polovinu oproti předchozímu případu, což je dostačující a metodu bych pro tenhle konkrétní případ doporučil použít. Musíme však být na pozoru při spouštění zatíženého motoru, protože moment při sepnutí do Y klesne na  $\frac{1}{3}$  jmenovité hodnoty. Plného momentu dosáhne až po sepnutí do D.

Při spouštění pomocí frekvenčního měniče s vhodným nastavením času rozběhu jsem docílil, že záběrný proud nepřesáhl hodnotu jmenovitého proudu. Tahle metoda má také výhodu v tom, že motor má při svém rozběhu velký krouticí moment, proto se hodí i pro tzv. „těžké starty.“ Frekvenčním měničem můžeme také řídit otáčky na již rozběhnutém motoru. Nevýhodou frekvenčního měniče je nutnost použít filtry pro redukci vyšších harmonických a vysoká pořizovací cena.

Při spouštění pomocí softstartérů se při použití vhodného počátečního napětí a doby náběhu podařilo snížit záběrný proud na méně než dvojnásobek jmenovitého. Nevýhodou oproti frekvenčnímu měniči je, že nejsme schopni nijak regulovat otáčky rozběhnutého motoru a dále, že při rozběhu se krátkodobě spolu s napětím sníží i moment motoru. V případě potřeby většího momentu pro „utržení zátěže“ lze použít funkci kick-start. Tím se však krátkodobě zvýší i záběrný proud. Pořizovací náklady jsou však oproti frekvenčnímu měniči poloviční.

Frekvenční měnič a softstartér nám oproti přímému připojení na síť a přepínači Y/D umožňují měkké spuštění. Tím se zamezí například: přebytečnému namáhání hřídele, rázům v převodovkách a výkyvům napětí v distribuční síti.

Tabulka 4.1: *Výhody a nevýhody jednotlivých metod*

	Přímé připojení	Y/D	Softstartér	Frekvenční měnič
Výhody	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Jednoduché zapojení</li> <li>•Nízké náklady na připojení</li> <li>•Snadné ovládání</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Nízké náklady na připojení</li> <li>•Snížení záb. proudu na 1/3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Plynulý rozběh</li> <li>•Snadná regulace záb. proudu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Plynulý rozběh</li> <li>•Snadná regulace záb. proudu</li> <li>•Možnost regulace otáček při chodu</li> </ul>
Nevýhody	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Izab dosahuje hodnot nakrátko</li> <li>•mechanické rázy na hřídel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• S proudem se i moment sníží na 1/3</li> <li>•Mechanické rázi na hřídel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vysoká pořizovací cena</li> <li>• Slouží pouze k rozběhu a zastavení</li> <li>• Při rozběhu nepůsobí motor plným momentem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vysoká pořizovací cena</li> <li>• Nutnost použití filtrů pro vyšší harmonické</li> </ul>

## Závěr

Hlavním úkolem této bakalářské práce bylo porovnat vliv různých metod spouštění asynchronního motoru na záběrný proud. Jelikož se dané problematice nevěnuje v předmětech jako elektrické stroje a elektrické pohony tolik pozornosti, musel jsem nejdříve nastudovat metody zapínání motorů v odborné literatuře.

V první kapitole jsem pro popis funkce a konstrukce motoru využil převážně znalostí čerpaných ze studia na vysoké škole a také z praxe. V druhé kapitole, kde se teoreticky probírají jednotlivé metody spouštění, jsem pro doplnění informací musel čerpat z odborné literatury a z katalogů výrobců frekvenčních měničů a softstartérů. V následující kapitole jsem praktikoval znalosti z laboratoří elektrických strojů, a to při základním měření provozních vlastností. Jako první jsem provedl měření nakrátko, které slouží převážně k zjištění ztrát v mědi a záběrného proudu. Ztráty v mědi se v případě měření nakrátko rovnají příkonu a jejich průběh v závislosti na napětí je vykreslen na obrázku 3.3. Při jmenovitém proudu  $I_N=8,7A$  jsou ztráty v mědi  $\Delta P_K=670W$ . Záběrný proud jsem přepočítal podle vzorce 3.3.  $I_{zab}=43,26A$ . Následovalo měření naprázdno, pomocí kterého jsem zjistil ztráty mechanické a ztráty v železe. Průběh ztrát naprázdno a grafický odečet ztrát mechanických je znázorněn na obrázku: 3.6.  $\Delta P_{mech}=40W$ . Další měřená provozní vlastnost je závislost momentu na otáčkách. Měření momentu se provádělo při sníženém napětí  $U=190V$ , čímž jsem byl schopen změřit dostatečnou část charakteristiky podstatnou pro mou práci. Kdyby bylo potřeba změřit větší část charakteristiky, tak bych musel napětí ještě více snížit. Momentová charakteristika je vykreslena na obrázku 3.7. Přepočet momentu při sníženém napětí na napětí jmenovité byl proveden pomocí vzorce 3.8. V poslední kapitole se již zabývám praktickým uplatněním jednotlivých metod na konkrétním motoru. Na obrázku 4.1 je vykreslen průběh proudu při přímém připojení na síť. Záběrný proud v tomhle případě dosahuje ve své špičce 70A a po přepočtu na efektivní hodnotu vyjde  $I_{zab}=49,5A$ . Vypočtený  $I_{zab}=43,3A$ . Na obrázku 4.2 je průběh napětí a proudu v případě přepínání Y/D. V tomhle případě se nám povedlo omezit záběrný proud na 49% v případě sepnutí do Y a při přepnutí do zapojení D dosáhl proud 65% jmenovitého záběrného proudu. Na obrázcích 4.4-4.8 jsou vykresleny průběhy napětí a proudu v případě spouštění pomocí frekvenčního měniče pro různé doby rozběhu, a to buď s použitím omezení proudu, nebo bez omezení proudu. Na obrázcích 4.10-4.13 jsou vykresleny průběhy napětí a proudu při spouštění pomocí softstartéru, taktéž s různou dobou náběhu po napět'ové hraně a velikostí počátečního napětí 20, nebo 50%. Na obrázku 4.14 je vyobrazen průběh napětí a proudu při použití funkce kick-start.

Za hlavní přínos své práce považuji shrnutí jednotlivých principů spouštění motorů a jejich porovnání v jedné ucelené práci. Jsem toho názoru, že podobné měření, které se zabývá právě zapínáním motorů, by bylo pro studenty jistě zajímavé v případě zařazení do měření v laboratořích.

Práce byla realizována s ohledem na možnosti a vybavení laboratoří. Studentům, kteří by chtěli na mou práci navázat, bych doporučil provést měření na zatížených motorech a především na motorech o větších výkonech, kde by záběrný proud dosahoval mnohem větších hodnot a bylo by podstatnější zabývat se jeho eliminací.

## Seznam použité literatury

- [1] CMELÍK, Karel. *Asynchronní a synchronní stroje*. Ostrava, 2001. ISBN 80 – 7078 – 857 - 7. Skripta. VŠB-TUO
- [2] KOCMAN, Karel, Jozef HOLBA, Alexander IHLÁR a Rudolf MRAVENEC. *Elektrické stroje a přístroje I*. 1. vyd. Josef ŘÍHA. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990, 424 s. ISBN 80-03-00406-3.
- [3] RUSNOK, Stanislav a Pavel SOBOTA. *Cvičení z Elektrických strojů*. Ostrava: Vysoká škola Báňská, 2013. ISBN 978-80-248-3288-3
- [4] KOCMAN, Stanislav. *ASYNCHRONNÍ STROJE* [online]. Ostrava: Katedra obecné elektrotechniky FEI VŠB-TU Ostrava, 2002 [cit. 2013-03-06]. Dostupné z: <http://p.kobrlc.sweb.cz/stroje/as-skriptum.pdf>
- [5] BARTOŠ, Václav et al. *Elektrické stroje*. 1. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2006. 139 s. ISBN 80-7043-444-9.
- [6] PETROV, G. *Elektrické stroje 2: Asynchronní stroje-synchronní stroje*. 1. vyd. Praha: Academia, 1982, 728 s.
- [7] ABB AUTOMATION TECHNOLOGIE. *Softstartéry: Průvodce problematikou softstartérů* [online]. Jiří VAŠINKA. 2009 [cit. 2015-03-14]. Dostupné z: [http://www08.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/dd33e4ab21ddb6d3c125764600480aeb/\\$file/Softstarter-%20handbook.pdf](http://www08.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/dd33e4ab21ddb6d3c125764600480aeb/$file/Softstarter-%20handbook.pdf)
- [8] MLČÁK, Tomáš. *Elektrotechnika pro FMMI* [online] 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2010 [cit. 2015-03-24]. ISBN 978-80-248-2601-1. Dostupné z: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FEI/EFMMI/Elektrotechnika%20pro%20FMMI.pdf>
- [9] ELEKTRONICKÉ SPOUŠTĚČE MOTORŮ A POHONY. *Moeller* [online]. 2009 [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://www.eatonelektrotechnika.cz/priruckazapojeni/drives008.html>
- [10] BOLDEA, I a S NASAR. *The Induction Machine Handbook*. Boca Raton: CRC Press, 2002, 950 s. ISBN 08-493-0004-5.