

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Rozjezd pomocného pohonu kola těžního stroje
Excavator Wheel Drive Reconstruction

2014

Jiří Čermák

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jiří Čermák**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Rozjezd pomocného pohonu kola těžního stroje
Excavator Wheel Drive Reconstruction.**

Zásady pro vypracování:

Popis stávajícího řešení pomocného pohonu.
Použití softstartéru a frekvenčního měniče, základní východiska.
Porovnání obou řešení na základě měření.
Návrh rekonstrukce pohonu pro napájení frekvenčním měničem.

Seznam doporučené odborné literatury:

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

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Bernat, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Abstrakt

V této práci je popsán pomocný pohon kola rypadla a možnost jeho rozběhu softstartérem a frekvenčním měničem. V první části je probrán asynchronní motor s kotvou nakrátko, jeho popis a princip funkce. Další části se věnují softstartéru a frekvenčnímu měniči, jejich popisu, funkcím a možnostem řízení. Dále je zde provedeno měření jejich vlivu na síť. Poslední část je věnována návrhu rekonstrukce pohonu pro napájení s frekvenčním měničem.

Klíčová slova

Pohon, asynchronní motor, softstartér, frekvenční měnič

Abstract

This thesis describes the auxiliary drive wheel excavators and the possibility of starting the softstarter and frequency converter. In the first part of the document the asynchronous motor with squirrel cage is discussed, its description and function. Other parts of the document are devoted to the soft starter and frequency converter, their description, function and management options. Furthermore, there is performed measurement of their effect on the network. The last section is devoted to the design of the reconstruction drive with the frequency converter.

Key Words

Drive, induction motor, softstarter, frequency converter

Seznam použitých symbolů a zkratk

AM	asynchronní motor
DNT	Doly Nástup Tušimice
DTC	Direct Torque Control
EMC	Elektro Magnetic Compatibility
FM	frekvenční měnič
SMC	Smart Motor Controller
VF	vysoká frekvence (vysokofrekvenční)
B_j	magnetická indukce jha
f_1	statorová frekvence
I	sdrúžená hodnota proudu
I_1	proud ve vinutí statoru
I_2'	proud rotoru přepočítaný na stator
K	převod mezi statorem a rotorem
k_{V1}	činitel vinutí statoru
k_{V2}	činitel vinutí rotoru
L	indukčnost
l_{js}	střední délka jha statoru
l_{jr}	střední délka jha rotoru
l_{zs}	délka zubu statoru
l_{zr}	délka zubu rotoru
m_1	počet fází statoru
m_2	počet fází rotoru

M	točivý moment na hřídeli
M_i	vnitřní točivý moment
M_m	maximální točivý moment
M_N	jmenovitý moment
M_{zvr}	moment zvratu
n	otáčky (zde asynchronní)
N_1	počet závitů jedné fáze statoru
N_2	počet závitů jedné fáze rotoru
n_{s1}	synchronní otáčky
p	počet pólpárů
P	mechanický výkon na hřídeli motoru
P_p	příkon odebíraný z napájecí sítě
ΔP_{J1}	ztráty ve vinutí motoru
ΔP_{Fe}	ztráty v magnetickém obvodu statoru
ΔP_d	ztráty dodatečné
ΔP_{J2}	ztráty ve vinutí rotoru
ΔP_{mec}	ztráty mechanické
ΔP_{celk}	celkové ztráty (součet všech dílčích ztrát)
P_δ	výkon přenášený vzduchovou mezerou
R	elektrický odpor
R_2'	elektrický odpor rotoru přepočítaný na stator
s	skluz
s_{zvr}	skluz při momentu zvratu
U	sdružená hodnota elektrického napětí
U_{ind1}	efektivní hodnota indukovaného napětí v jedné fázi statoru

$U_{\text{ind}2S}$	efektivní hodnota indukovaného napětí v jedné fázi rotoru
X	reaktance
$X_{\sigma 2}'$	rozptylová reaktance vinutí rotoru přepočítaná na stator
δ	délka vzduchové mezery
η	účinnost
ω	úhlová rychlost
ρ	rezistivita
τ_p	pólová rozteč
φ_1	fázový posun mezi proudem a napětím
Φ_m	maximální magnetický tok ve vzduchové mezeře

Obsah

Úvod	1
1. Asynchronní motor s kotvou nakrátko a jeho řízení	2
1.1. Význam a použití	2
1.2. Popis asynchronního motoru.....	2
1.3. Princip činnosti asynchronního motoru	3
1.4. Náhradní schéma asynchronního motoru.....	5
1.5. Výkon a moment asynchronního motoru.....	6
1.6. Rozjezd 3f asynchronního motoru	10
2. Popis stávajícího řešení pomocného pohonu	12
2.1. Technické parametry motoru pomocného pohonu.....	17
2.2. Softstartér SMC Dialog Plus.....	19
3. Softstartér a frekvenční měnič	21
3.1. Softstartér.....	21
3.2. Frekvenční měnič.....	26
3.3. Srovnání softstartéru a frekvenčního měniče.....	36
4. Porovnání rozjezdu pomocného pohonu softstartérem a měničem kmitočtu na základě provedeného měření.....	38
4.1. Analyzátor kvality el. energie G4500 BLACKBOX	38
4.2. Rozjezd pomocí softstartéru	42
4.3. Rozjezd frekvenčním měničem.....	46
5. Návrh rekonstrukce pohonu s frekvenčním měničem.....	50
5.1. Motor	50
5.2. Měnič frekvence.....	52
5.3. Přívodní kabel k motoru.....	54
Závěr	56
Literatura	58
Seznam obrázků	59
Seznam tabulek	62

Úvod

Dobývací velkstroje na povrchových dolech v České republice jsou, až na výjimky, rypadly kolesovými. Ne jinak je tomu i v Severočeských dolech a.s., provozu Doly Nástup Tušimice (dále jen DNT). Jedním z takových velkstrojů je i kolesové rypadlo SchRs 1550, ke kterému směřuje i tato diplomová práce.

Provoz na DNT je z hlediska dobývání rozdělen na řezy skrývkové a uhelné. Na skrývkových řezech se pomocí velkorypadel odtěžují zeminy nad uhelnou slojí, které by jinak bránily v dalším postupu při těžení hnědého uhlí.

Jelikož se pracuje v nepřetržitém provozu, to znamená za jakéhokoliv počasí, bývá struktura těženého materiálu často odlišná. Nejhorší pro nepřetržitý provoz je mokrá a hutný materiál, kdy dochází k zanášení rýpacích korečků a ty je nutné častěji čistit. K čištění nebo i výměně korečků je potřeba přesného najetí kola do požadované polohy. Tuto operaci, rozjezd kola při čištění na rypadle SchRs 1550, obstarává tak zvaný pomocný pohon tvořený asynchronním motorem o výkonu 22kW. Pomocný se nazývá proto, jelikož se stará jen o již zmíněné operace. Při těžbě je pohyb kola se 14 korečky provozován na hlavní pohon s motorem o výkonu 1MW.

Pro čištění korečků, nebo jejich výměnu, je potřeba relativně pomalý pohyb kola s co nejvíce plynulým rozjezdem a dojezdem. Proto je pomocný pohon provozován pomocí softstartéru. Problém ovšem nastává za velkého znečištění korečků (ucpání se), kdy vlivem velké zátěže nedochází k plynulému rozjezdu kola, ale spíše trhavému. Při ucpání několika korečků za sebou se kolo v mnoha případech nerozjede vůbec. Tento problém je prozatím řešen nastavením automatiky čištění tak, že při čištění nenajíždí koreček za korečkem, ale vzhledem k rovnoměrnosti se načítá a čistí každý třetí, dokud nedojde k vyčištění všech 14 korečků. Tím ovšem dochází k značnému prodloužení celé operace, čímž se snižuje časové využití rypadla. To je vnímáno negativně.

Tento problém s rozjezdem pomocí softstartéru a zároveň lepší provoz pomocného pohonu by mohl řešit frekvenční měnič.

1. Asynchronní motor s kotvou nakrátko a jeho řízení

1.1. Význam a použití

Asynchronní motory (AM) jsou nejvíce rozšířenými elektromotory ve všech odvětvích. Představují asi 80% z celkového počtu motorů používaných v průmyslu. Jejich primární postavení vzniká díky jejich jednoduchosti, relativně laciné výrobě, spolehlivosti a vyžadují jen malou údržbu. Tyto elektromotory se užívají jako pohony pásových dopravníků, výtahů, obráběcích strojů, čerpadel, kompresorů, drtičů, v metru nebo u železničních lokomotiv a v mnoha dalších aplikacích.

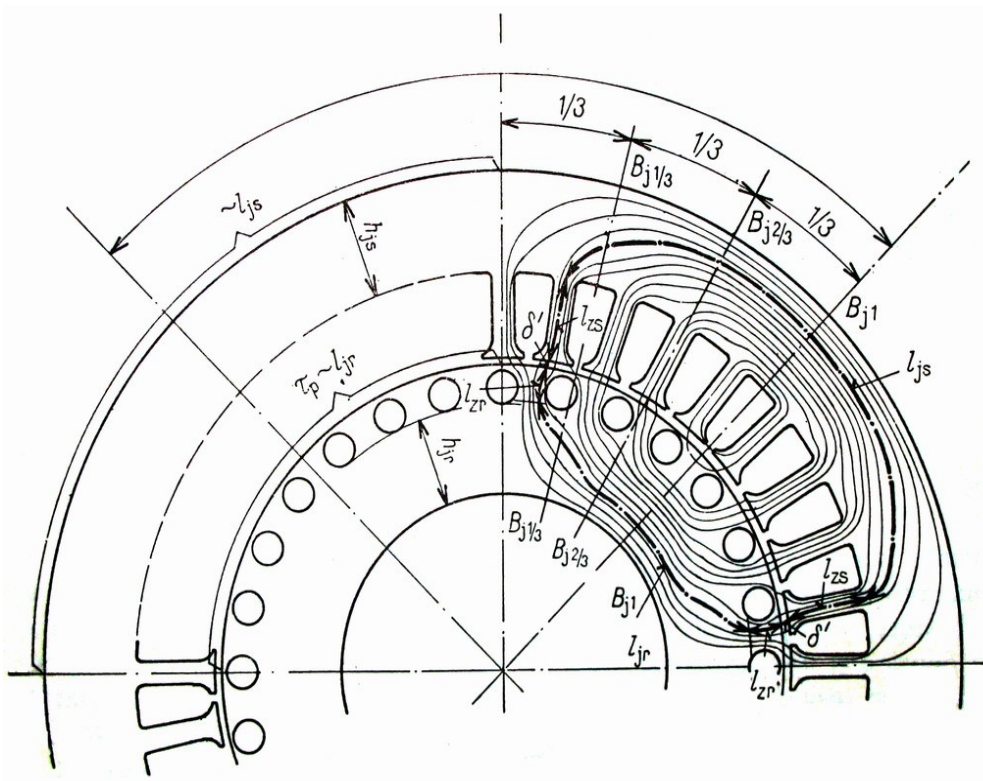
1.2. Popis asynchronního motoru

Asynchronní motor je točivý elektrický stroj, jehož magnetický obvod je malou vzduchovou mezerou rozdělen na dvě části, STATOR a ROTOR. Stator má vinutí uložené v drážkách a připojené k síti. Podle provedení rotorového (kotevního) vinutí rozeznáváme motory s kotvou nakrátko a kotvou kroužkovou. U motorů s kotvou nakrátko je rotorové vinutí provedeno z tyčí uložených v drážkách, přičemž všechny tyče jsou na obou koncích spojeny kruhy nakrátko. [1]

Magnetický obvod asynchronního stroje je složen z plechů z elektrotechnické oceli obvykle o tloušťce 0,5 mm. Rotor je hladký a vzduchová mezera je rovnoměrná. Velikost vzduchové mezery je závislá na výkonu motoru a u malých strojů je několik desetin mm, kdežto u velkých strojů i několik mm. [1]

Konce a začátky fází statorového vinutí jsou připojeny ke svorkovnici. Vinutí tak může být spojeno do hvězdy nebo trojúhelníku.

Stator je z plechů s drážkami na jeho vnitřním obvodu. Rotor je opět složený z plechů, ale drážky má na vnějším obvodu. Magnetický tok vychází ze statorových zubů, prochází vzduchovou mezerou do rotorových zubů, obrátí se rotorovým jhem a zuby zpět do vzduchové mezery. Nakonec se uzavře přes zuby statoru a jeho statoru. Magnetický obvod lze tedy rozdělit na pět částí: vzduchovou mezeru, zuby statoru, zuby rotoru a jeho statoru a rotoru. [1]



Obr. 1 - 1 Magnetický tok jednoho pólu

1.3. Princip činnosti asynchronního motoru

Princip funkce asynchronního motoru je založen na vzájemném elektromagnetickém působení točivého magnetického pole statoru a proudů, vytvořených ve vinutí rotoru tímto magnetickým polem. Rotor asynchronního stroje není elektricky spojen se státorem. Činnost je tedy založena na indukci napětí a proudů v rotoru, a proto se nazývají též motory indukčními. Vzduchová mezera mezi státorem a rotorem je co nejmenší, aby magnetická vazba byla co nejlepší. Točivé magnetické pole se vytvoří ve vinutí statoru, které bývá nejčastěji třífázové. Jednotlivá vinutí jsou prostorově natočena o 120° a protéká jimi, po připojení na síť, třífázový harmonický proud. Toto točivé pole protíná vinutí rotoru, ve kterém se indukuje napětí. Jelikož vinutí má relativně malý odpor, je jím protlačován značný proud, čímž dojde k silovému působení pole statoru na rotorový obvod. Účinkem těchto sil vzniká točivý moment, který roztočí rotor ve směru otáčení magnetického pole statoru. Zde se elektrická energie přeměňuje na mechanickou. [2]

Magnetické pole statoru se otáčí synchronní rychlostí. V praxi se uvádí rychlost otáčení AM v otáčkách za minutu, proto vztah pro synchronní otáčky je:

$$n_{s1} = \frac{60 \cdot f_1}{p} \text{ (min}^{-1}\text{)} \quad (1.1)$$

f_1 - statorová frekvence
 p - počet pólů stroje

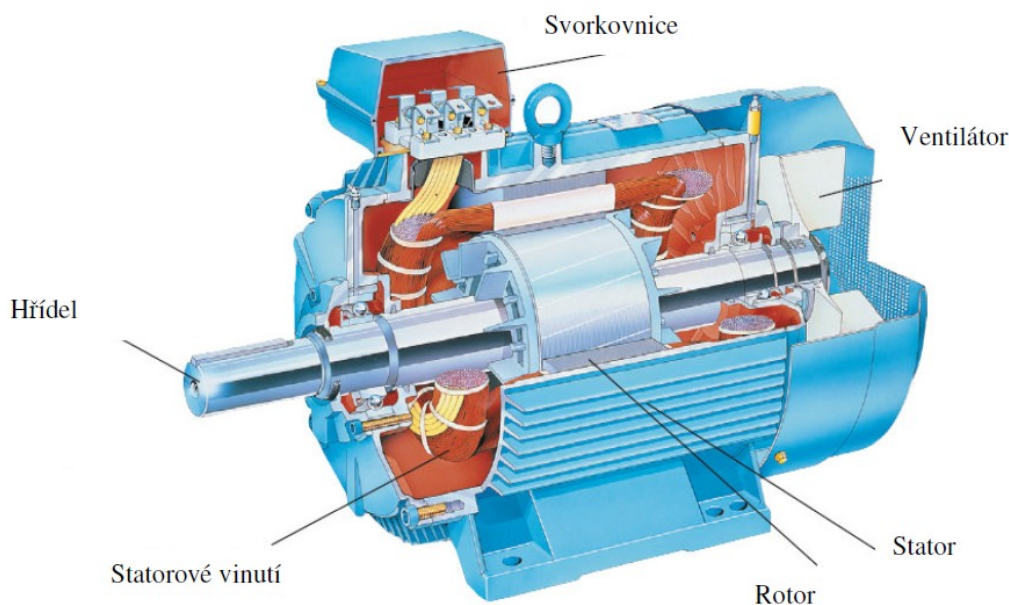
V ideálním případě by se rotor roztočil až na synchronní otáčky magnetického pole statoru. Aby se však v rotorovém vinutí i nadále indukovala elektromotorická síla a protékal jím proud, musí existovat relativní pohyb mezi rotorem a točivým polem statoru. Vlivem zatížení motoru jsou jeho otáčky vždy o něco nižší než synchronní otáčky točivého pole, neboli asynchronní. [2]

Pokles otáček při zatížení je malý a je závislý na velikosti zatížení. Pokles otáček se udává jako skluz s :

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 \text{ (\%)} \quad (1.2)$$

Pak vztah pro rychlost otáčení asynchronního stroje je:

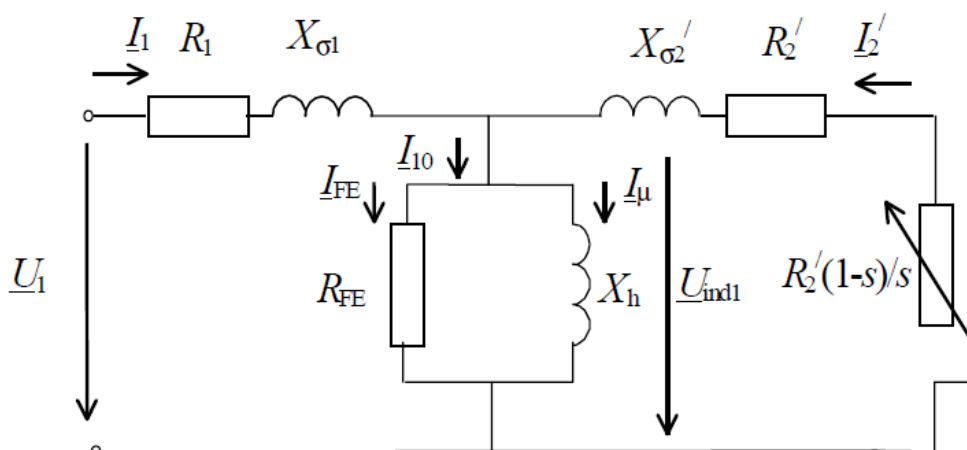
$$n = \frac{60 \cdot f_1 \cdot (1 - s)}{p} \text{ (min}^{-1}\text{)} \quad (1.3)$$



Obr. 1 - 2 Řez indukčním motorem [6]

1.4. Náhradní schéma asynchronního motoru

Náhradní schéma asynchronního motoru na obr. 1 - 3 je obdobné s náhradním schématem transformátoru. V rovnicích pro indukovaná napětí je navíc tzv. činitel vinutí, který zohledňuje rozložení vinutí každé fáze v prostoru. Tato vinutí jsou tvořena více cívkami rozloženými po obvodu statoru tak, aby se omezil vliv vyšších harmonických. Na výstupních svorkách je připojena činná zátěž, jejíž velikost závisí na skluzu. [2]



Obr. 1 - 3 Úplné náhradní schéma asynchronního motoru [2]

Efektivní hodnota indukovaného napětí v jedné fázi statoru a rotoru:

$$U_{ind1} = 4,44 \cdot k_{V1} \cdot f_1 \cdot N_1 \cdot \Phi_m \quad (\text{V}) \quad (1.4)$$

k_{V1} činitel vinutí statoru

N_1 počet závitů jedné fáze statoru

Φ_m celkový max. magnetický tok ve vzduchové mezeře stroje

$$U_{ind2s} = 4,44 \cdot k_{V2} \cdot f_2 \cdot N_2 \cdot \Phi_m = 4,44 \cdot k_{V2} \cdot s \cdot f_1 \cdot N_2 \cdot \Phi_m = U_{ind2} \cdot s \quad (\text{V}) \quad (1.5)$$

k_{V2} činitel vinutí rotoru

N_2 počet závitů jedné fáze rotoru

U_{ind2} indukované napětí při zabrzděném rotoru ($s=1, n=0$)

převod mezi státorem a rotorem:

$$K = \frac{U_{ind1}}{U_{ind2}} = \frac{k_{V1} \cdot N_1}{k_{V2} \cdot N_2} \quad (1.6)$$

Rotorové veličiny se přepočítají na stator podle následujících vztahů:

$$U_{ind2}' = K \cdot U_{ind2} = U_{ind1} \quad (\text{V}) \quad (1.7)$$

$$I_2' = I_2 \cdot \frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{1}{K} \quad (\text{A}) \quad (1.8)$$

$$R_2' = R_2 \cdot \frac{m_1}{m_2} \cdot K^2 \quad (\Omega) \quad (1.9)$$

$$X_{\sigma 2}' = X_{\sigma 2} \cdot \frac{m_1}{m_2} \cdot K^2 \quad (\Omega) \quad (1.10)$$

kde m_1 je počet fází statoru, m_2 počet fází rotoru a tento počet nemusí být shodný.

Velikost indukovaného napětí v obvodu rotoru závisí na velikosti skluzu AM, rovněž i velikost rozptylové reaktance vinutí rotoru:

$$X_{\sigma 2s} = 2\pi \cdot f_2 \cdot L_2 = 2\pi \cdot s \cdot f_1 \cdot L_2 = X_{\sigma 2} \cdot s \quad (1.11)$$

proud tekoucí v rotoru přepočítaný na stator je:

$$I_2' = \frac{U_{ind2}' \cdot s}{R_2' + jX_{\sigma 2s}} = \frac{U_{ind1}}{\frac{R_2'}{s} + jX_{\sigma 2}'} \quad (\text{A}) \quad (1.12)$$

kde

$$\frac{R_2'}{s} = R_2' + R_2' \cdot \frac{1-s}{s} \quad (1.13)$$

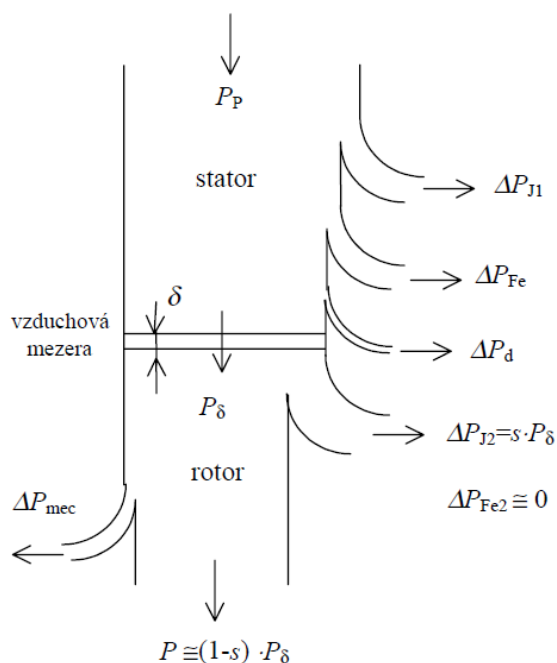
1.5. Výkon a moment asynchronního motoru

Příkon odebíraný třífázovým elektromotorem z napájecí sítě je dán vztahem [2]:

$$P_p = 3 \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi_1 \quad (\text{W}) \quad (1.14)$$

kde U_1 a I_1 jsou fázové veličiny, U a I jsou sdružené veličiny a φ_1 je fázový posun mezi proudem a napětím.

Ztráty, které vznikají během provozu asynchronního motoru, jsou znázorněny na následujícím obrázku.



Obr. 1 - 4 Výkonová bilance motoru [2]

Z obr. 1 - 4 je patrné, že výsledný výkon motoru je dán rozdílem příkonu z napájecí sítě a ztrát v motoru vznikajících:

$$P = P_p - \Delta P_{j1} - \Delta P_{Fe} - \Delta P_d - \Delta P_{j2} - \Delta P_{mec} = P_p - \Delta P_{celk} \quad (W) \quad (1.15)$$

kde

P_p - příkon motoru (elektrický výkon odebíraný z napájecí sítě)

P - mechanický výkon na hřídeli motoru

ΔP_{j1} - ztráty ve vinutí motoru

ΔP_{Fe} - ztráty v magnetickém obvodu statoru

ΔP_d - ztráty dodatečné

ΔP_{j2} - ztráty ve vinutí rotoru

ΔP_{mec} - ztráty mechanické

ΔP_{celk} - celkové ztráty (součet všech dílčích ztrát)

Účinnost asynchronního motoru je poté dána vztahem:

$$\eta = \frac{P}{P_p} = \frac{P}{P - \Delta P_{celk}} \quad (1.16)$$

Moment asynchronního stroje, tedy točivý moment na hřídeli, můžeme získat z rovnice pro vnitřní točivý moment daný vztahem:

$$M_1 = \frac{P_\delta}{\omega_{s1}} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1.17)$$

kde P_δ je výkon přenášený vzduchovou mezerou.

Jestliže zanedbáme mechanické ztráty v motoru, pak je tento vnitřní moment roven právě točivému momentu na hřídeli, který je po dosazení za ω_{s1} roven [2]:

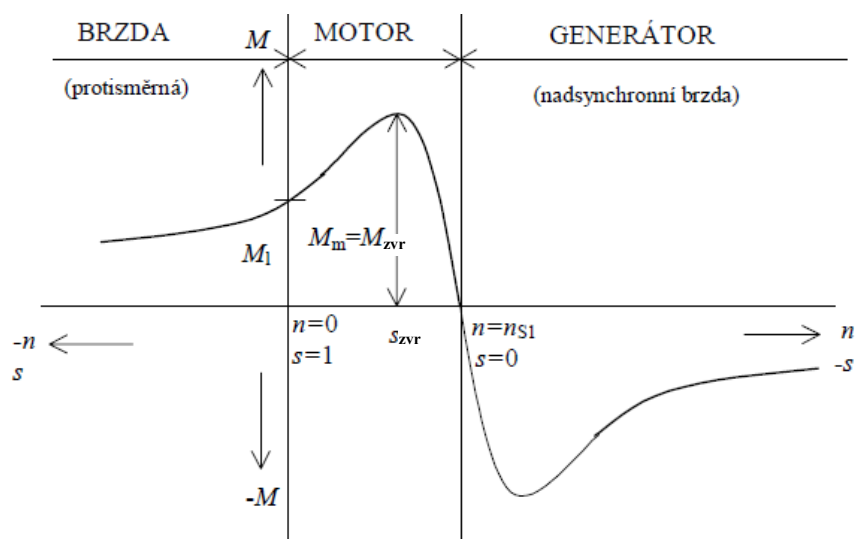
$$M = \frac{P_\delta}{2 \cdot \pi \cdot n_{s1}} \cdot 60 = 9,55 \cdot \frac{P_\delta}{n_{s1}} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1.18)$$

Tuto rovnici můžeme při využití vztahů pro výkony a dílčí ztráty ve vinutí rotoru ΔP_{J2} a pro proud I_2' z úplného náhradního schématu psát jako:

$$M = \frac{P_\delta}{\omega_{s1}} = \frac{\frac{\Delta P_{J2}}{s}}{\frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p}} = \frac{3 \cdot \frac{R_2'}{s} \cdot I_2' \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{3 \cdot U_1^2 \cdot \frac{R_2'}{s} \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + X_\sigma^2 \right]} = f(s) \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1.19)$$

$$X_\sigma = X_{\sigma 1} + X_{\sigma 2}' \quad (\Omega) \quad (1.20)$$

Grafické vyjádření závislosti momentu na otáčkách a skluzu vyjadřuje momentová charakteristika asynchronního motoru na *obr. 1-5*



Obr. 1 - 5 Momentová charakteristika AM [2]

Při zanedbání odporu statorového vinutí ($R_1=0$) dostaneme zjednodušený Klossův vztah:

$$M = \frac{2 \cdot M_m}{\frac{s}{s_{zvr}} + \frac{s_{zvr}}{s}} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1.21)$$

kde M_m je maximální moment a je roven momentu zvratu ($M_m=M_{zvr}$), s_{zvr} je skluz při momentu zvratu.

$$M_m = \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_{S1} \cdot X_\sigma} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1.22)$$

$$s_{zvr} = \frac{R_2'}{X_\sigma} \quad (1.23)$$

Z výše uvedeného vztahu pro maximální moment vidíme, že moment motoru je přímo úměrný druhé mocnině napájecího napětí a závisí na frekvenci a to nepřímo úměrně k její změně.

Jmenovitý točivý moment motoru na hřídeli při jmenovitém výkonu motoru a jmenovitých otáčkách je:

$$M_N = \frac{P_N}{\omega_N} = \frac{P_N}{\frac{2 \cdot \pi \cdot n_N}{60}} = 9,55 \cdot \frac{P_N}{n_N} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1.24)$$

1.6. Rozjezd 3f asynchronního motoru

Rozjezdem asynchronního motoru nastává děj, při kterém se mění proud, rychlost a moment motoru. Motorem začne protékat záběrný proud omezený při určitém napětí jen impedancí nakrátko tohoto motoru. Velikost záběrného proudu bývá, podle konstrukčního provedení motoru při přímém připojení na napájecí síť, asi 4 až 8 násobek jmenovitého proudu. [1]

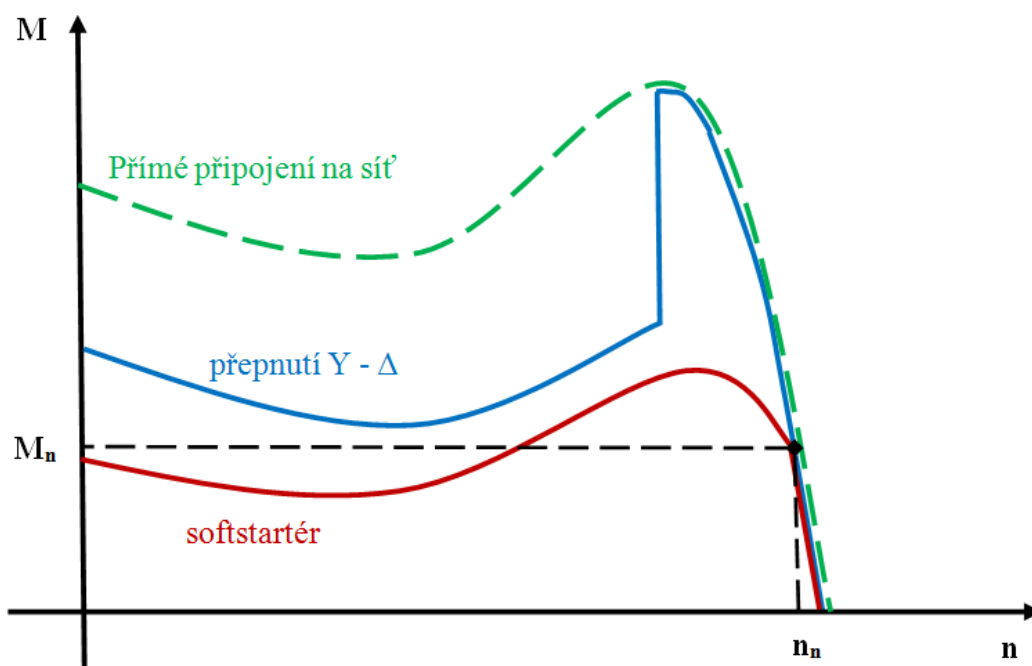
Snahou při rozjezdu je:

- dostatečně velký záběrný moment
- malý záběrný proud

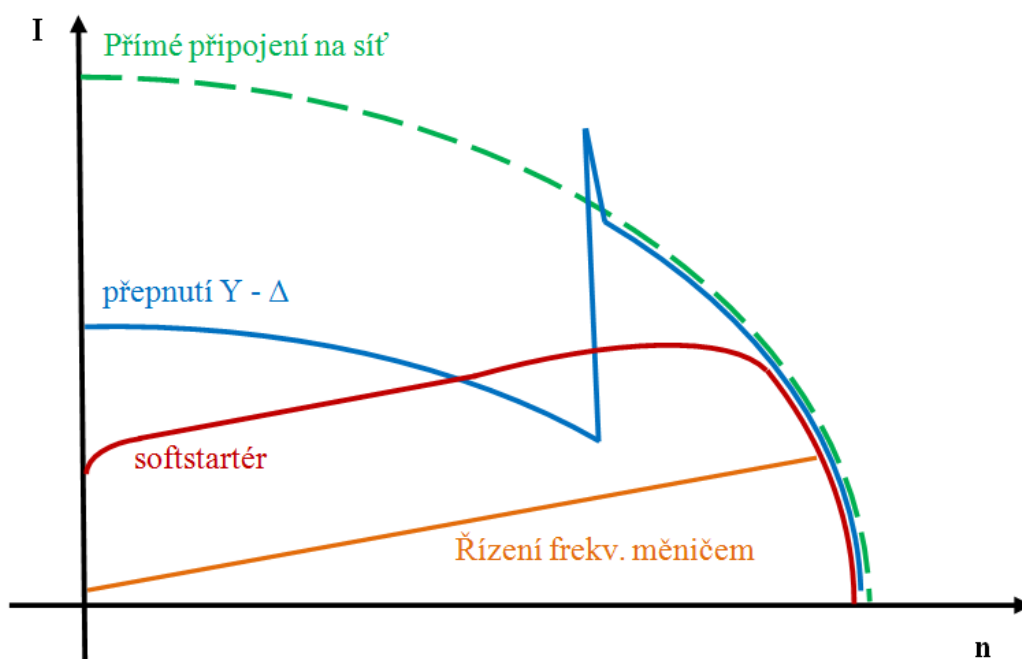
Možnosti spouštění motorů s kotvou nakrátko:

- Přímým připojením na napájecí síť (s ohledem na proudový náraz povoleno jen pro výkony do 3kW)
- Statorovým spouštěčem (s rezistory nebo tlumivkami)
- Spouštěcím autotransfornátorem
- Přepínáním hvězda – trojúhelník
- Softstartérem
- Frekvenčním měničem

Vzhledem k zaměření této diplomové práce se dále budu věnovat jen posledním dvěma možným způsobům spouštění AM s kotvou nakrátko, tedy spouštění pomocí softstartéru a frekvenčního měniče.



Obr. 1 - 6 Momentové charakteristiky asynchronního motoru s různým typem rozběhu [3]



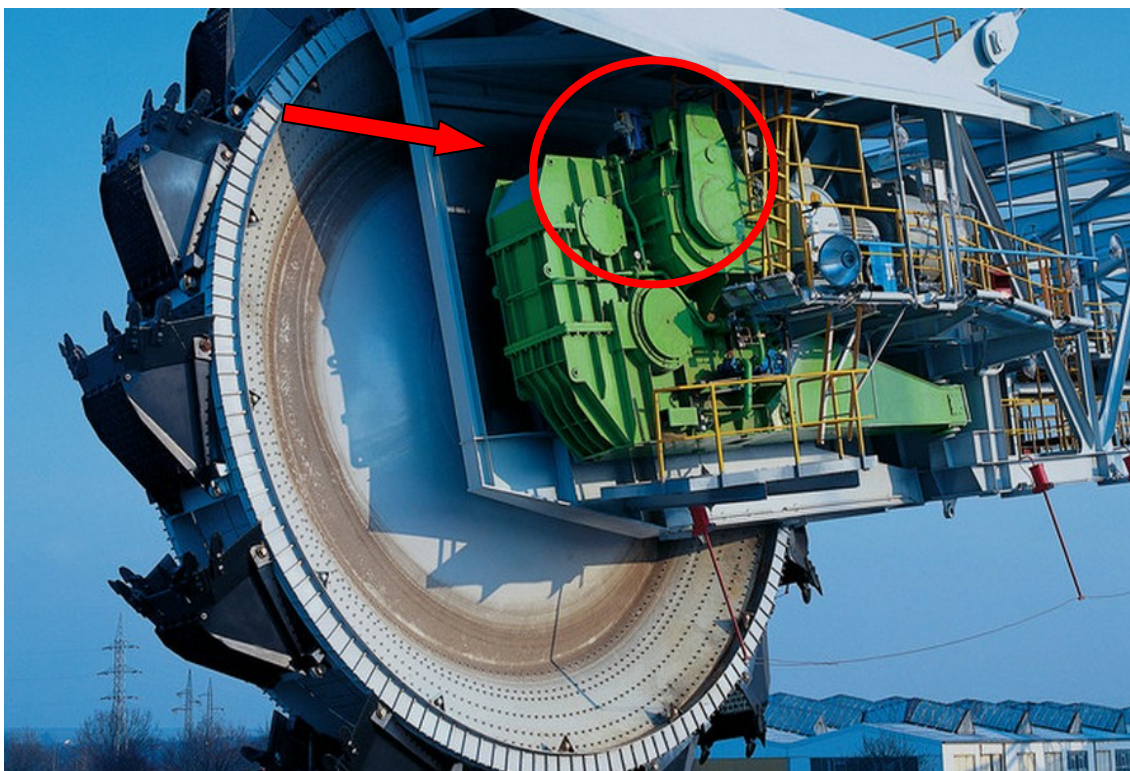
Obr. 1 - 7 Proudové charakteristiky různých typů rozběhů asynchronního motoru [3]

2. Popis stávajícího řešení pomocného pohonu

Jak již bylo zmíněno v úvodu této práce, pomocný pohon kola rypadla SchRs 1550 není určený pro samotné těžení, nýbrž pro pomocné práce, jako jsou vyčištění zanesených korečků kola nebo jejich výměna či oprava. Při těchto pracích je potřeba plynulého rozjezdu.

Motor pomocného pohonu kola je napájen z elektrického rozvodu na rypadle, kde všechny pohony, krom těch nejvíce zatížených, jako je například hlavní pohon kola (6kV), jsou na napěťové hladině 400 V. Elektrický obvod pomocného pohonu je složen z jističní nožovými pojistkami 80A gG, stykače s reverzací, nadproudové ochrany nastavené na $I_n=45A$, softstartéru SMC DIALOG PLUS 54A 200-480V a z asynchronního motoru SIEMENS s kotvou nakrátko o výkonu 22kW a osovou výškou 200 mm.

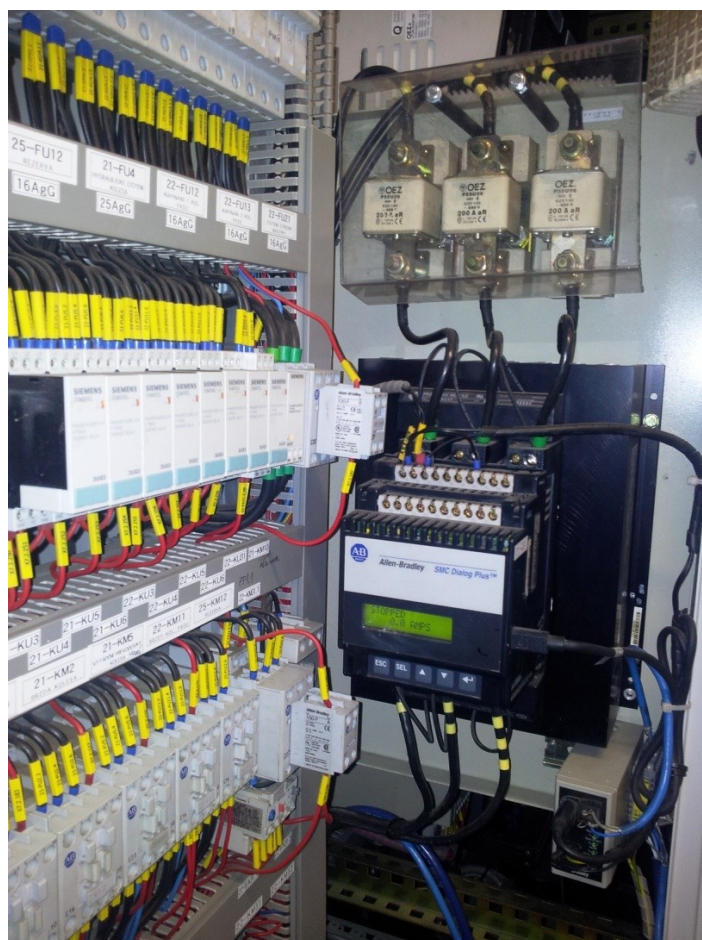
Vlastní pohon je namontován shora přímo na těle převodovky hlavního pohonu kola. Hřídel motoru pomocného pohonu je spojen s bubnovou brzdou a dále s převodovkou hlavního pohonu přes mechanické připojení.



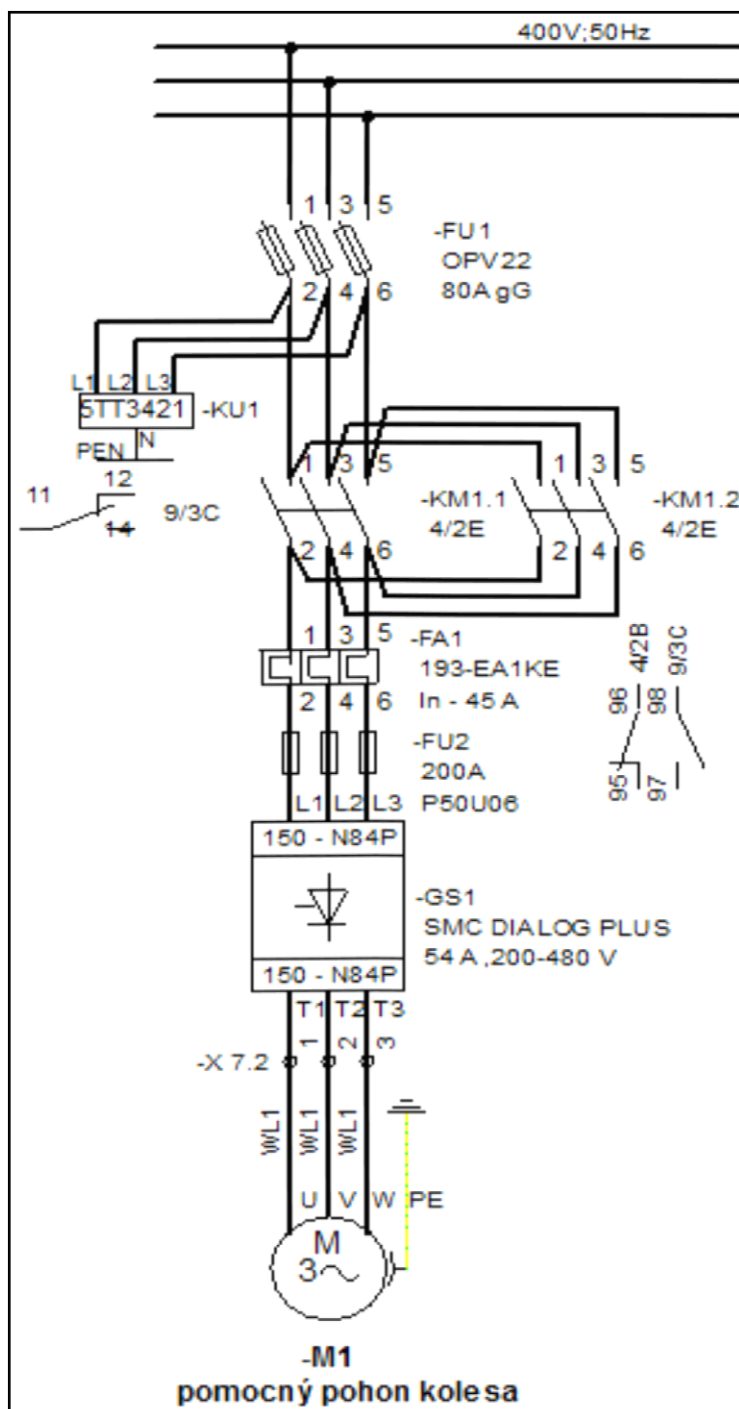
Obr. 2 - 1 Pohled na koleso rypadla SchRs 1550 s umístěním pomocného pohonu



Obr. 2 - 2 Detail pomocného pohonu kola



Obr. 2 - 3 Umístění softstartéru v rozvaděči



Obr. 2 - 4 Elektrické schéma připojení motoru pom.pohonu

Propojení svorkovnice motoru pomocného pohonu a svorkovnice soft-startéru, nacházející se v rozvodně horní stavby rypadla, je pomocí kabelu typu CGTU 3Ax16 dlouhého přibližně 145m.



Obr. 2 - 5 Situační schéma umístění pohonu a softstartéru a přibližné trasy kabelu

Při takové délce kabelu u softstartéru nebo frekvenčního měniče je vhodné tento kabel zkontrolovat na úbytek napětí.

Kontrola kabelu na úbytek napětí:

Parametry nutné pro výpočet

- Délka kabelu $l = 145 \text{ m}$
- Průřez kabelu $S = 16 \text{ mm}^2$
- Jmenovitý proud $I_n = 44 \text{ A}$
- Jmenovité napětí $U_n = 400 \text{ V}$
- Účinník $\cos \varphi_n = 0,81$
- Materiál měď $\rho_{\text{Cu}} = 0,0175 \Omega \cdot \text{m} \cdot \text{mm}^{-2}$

Vztah pro výpočet úbytku napětí:

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos(\varphi) + X_L \cdot I \cdot \sin(\varphi) = I \cdot (R \cdot \cos(\varphi) + X_L \cdot \sin(\varphi)) \quad (\text{V}) \quad (2.1)$$

Jelikož se jedná o kabelové vedení, kde je indukčnost vodičů způsobující induktivní reaktanci malá, je možné počítat pouze s odporem vedení. Pak vztah pro úbytek napětí bude:

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos(\varphi) \quad (\text{V}) \quad (2.2)$$

Vypočítáme si odpor vodiče kabelu:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0,0175 \cdot 145}{16} = 0,16 \Omega \quad (2.3)$$

a dosadíme do (2.2):

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos(\varphi) = 0,16 \cdot 44 \cdot 0,81 = 5,7 \text{V}$$

Obvykle bývá dovolený úbytek napětí cca 5% napětí fázového:

$$\Delta U_{\text{DOV}} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \cdot 0,05 = \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot 0,05 = 11,55 \text{V} \quad (2.4)$$

Porovnáme:

$$\Delta U \leq U_{\text{DOV}} \Rightarrow \text{úbytek napětí na kabelu k motoru pomocného pohonu je menší než 5\%}$$

2.1. Technické parametry motoru pomocného pohonu

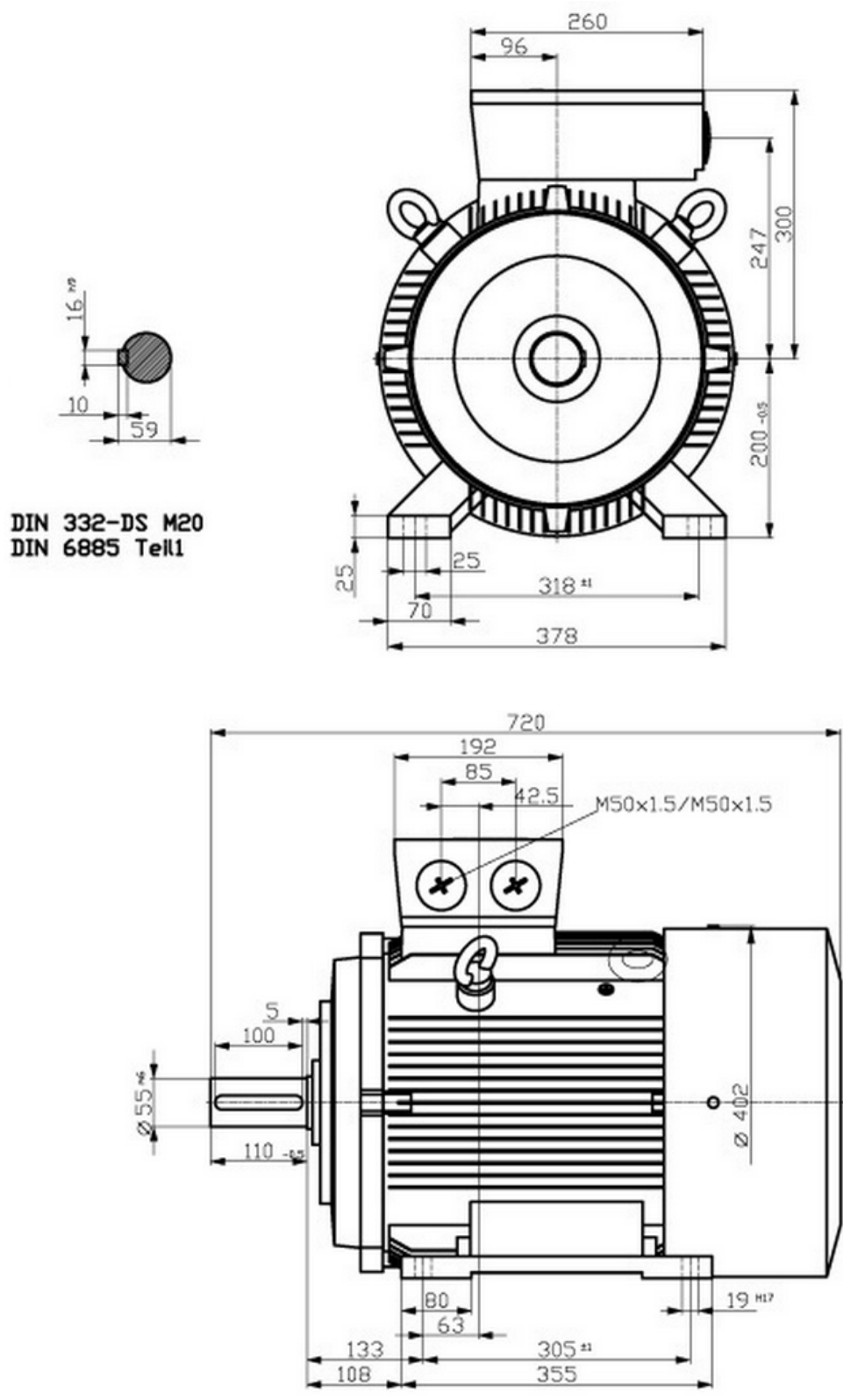
Srdcem pomocného pohonu je třífázový nízkonapěťový asynchronní motor s rotorem nakrátko od firmy SIEMENS s označením 1LG4 207 6AA60-Z. Jedná se o patkový motor s vlastní ventilací.

Základní parametry[4]:

Napájecí napětí Δ/Y	230/400 V	
Jmenovitý výkon	22 kW	
Jmenovité otáčky	975 ot/min	
Účinitík $\cos\varphi$ (při P_n)	0,81	
Účinnost (při P_n)	89.2 %	
Jmenovitý proud I_n	44 A	
Jmenovitý moment M_n	215 Nm	
Poměrný záběrný moment	559 Nm	} platí při přímém spouštění na síť
Poměrný záběrný proud	251 A	
Poměrný moment zvratu	537,5 Nm	
Osová výška hřídele	200 mm	



Obr. 2 - 6 Asynchronní motor SIEMENS [4]



DIN 332-DS M20
DIN 6885 Teil1

Obr. 2 - 7 Základní rozměry motoru 1LG4 207 6AA60-Z [4]

2.2. Softstartér SMC Dialog Plus

O rozjezd 3f asynchronního motoru pomocného pohonu kola se stará softstartér SMC Dialog Plus 54A od firmy Allen-Bradley (SMC – Smart Motor Controller).

Tento softstartér je určen k práci s třífázovými motory s klecovou kotvou. Vyrábí se ve výkonových řadách pro proudy od 1 až do 1000A při napětí 200 až 480V AC nebo 200 až 600V AC a frekvenci 50/60 HZ. Napětí na řídicích vstupech je 100 – 240 V AC nebo 24V AC/DC.



Obr. 2 - 8 Soft-startér SMC Dialog Plus

Způsoby rozběhu, které umožňuje tento typ softstartéru [5]:

- Soft-start s možným nastavením rozběhového pulsu (tzv. Kickstart)
- Rozběh s omezeným proudem s možným nastavením rozběhového pulsu (tzv. Current Limit Start)
- Rozběh se dvěma náběžnými rampami (Dual Ramp Start)
- Rozběh s přímým připojením na plné napětí (Full Voltage Start)

Další možnosti nastavení [5]:

- Pomalé zastavení (Soft-Stop)
- Provoz s nízkými otáčkami (Preset Slow Speed)
- Brzdění motoru (Smart Motor Braking)
- Dojezd motoru do žádané polohy (Accu-Stop)
- Provoz se sníženými otáčkami a brzdění (Slow Speed with Braking)
- Funkce řízení čerpadel (Pump Control)

Tab. 1 Stávající nastavení softstartéru SMC Dialog Plus

číslo parametru	funkce	nastaveno
28	režim rozběhu	current limit
30	doba rampy 1	5 sec.
34	proudové omezení	300%
35	doba kickstartu	0 sec.
36	třída přetížení	off
37	doba blokování při rozběhu	1 s
38	režim úspory energie	off
39	pomocné kontakty (1,2)	up-to-speed
40	pomocný kontakt 3	fault
41	nastavení kontaktu 3	n.o.
52	úroveň podpětí	0%
53	zpoždění reakce podpětí	0 sec.
54	úroveň přepětí	110%
55	zpoždění reakce přepětí	5 sec.
56	úroveň zablokování	0%
57	zpoždění reakce zablokování	0 sec.
58	úroveň fázové nevyváženosti	0%
59	rebalance	off
60	úroveň odlehčení	0%
61	zpoždění reakce na odlehčení	0 sec.
62	reverzace fází	off
63	počet rozběhů za hodinu	-
64	počet povolených restartů	2
65	zpoždění restartů	0 sec.
69	síťové napětí	400 V
70	jmenovitý proud motoru	50 A
74	poměr převodníku	none
75	převod proudového traťa	5:5
76	kalibrace	off
77	vklad proudové kalibrace	20 A
78	volba jazyka	english
80	výkon motoru	22 kW
81	LRC poměr	0
84	servisní číslo	1.15
85	logická maska	4
86	zpoždění reakce na fáz. nevyváženost	0 sec
87	verze firemního programu	1.11
88	nulování stavu přetížení	manual

3. Softstartér a frekvenční měnič

3.1. Softstartér

Softstartér je polovodičový rozběhový člen tvořený dvěma, ve fázi instalovanými, anti-paralelně řazenými **tyristory** (tzv. fázově řízený **měníč střídavého napětí**), které jsou ovládány řídicí deskou. Při rozběhu dochází k výraznému snížení záběrného proudu a momentu. Samotná regulace je napěťová, to znamená, že řídicí deska softstartéru postupně zvyšuje (příp. snižuje) nastavenou efektivní hodnotu napětí ve fázích po dobu nastavenou uživatelem. Napětí na svorkách motoru během startu je nízké, a tedy i rozběhový proud a moment. Postupným zvyšováním napětí dochází ke zvětšení momentu na hřídeli motoru, tedy i proudu a otáček. [6]

Jelikož je při rozběhu pomocí softstartéru napětí na svorkách asynchronního motoru nižší než jmenovité, poklesne záběrný moment M_Z na hodnotu:

$$M = M_z \cdot \left(\frac{U_1}{U_{1n}} \right)^2 = M_z \cdot \left(\frac{I}{I_z} \right)^2 \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (3.1)$$

kde U_{1n} je jmenovité napětí

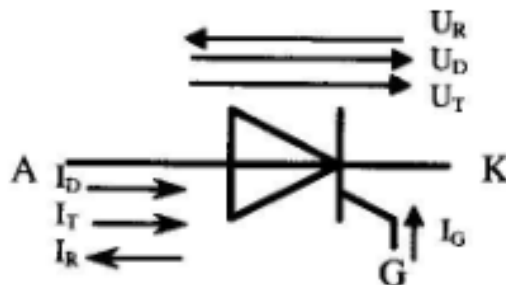
U_1 snížené napětí při spouštění

I_z záběrný proud při jmenovitém napětí

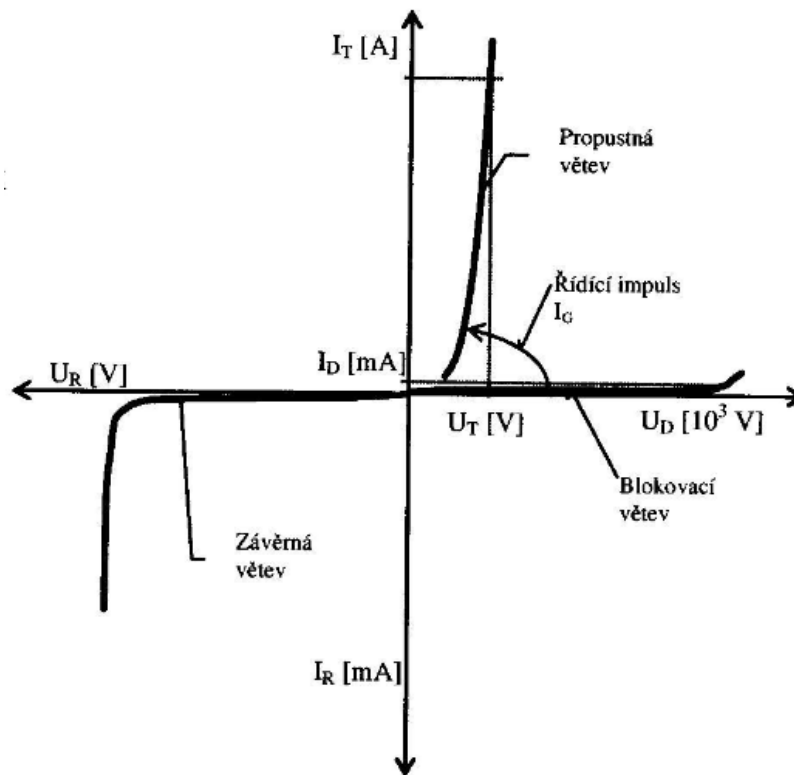
I záběrný proud při sníženém napětí

3.1.1. Tyristor

Tyristory patří mezi součástky s tzv. řízeným spínáním. Jde o součástky, které lze za určitých podmínek pomocí zapínacího proudového pulzu sepnout. [7]



Obr. 3 - 1 Tyristor – značka[7]



Obr. 3 - 2 V-A charakteristika tyristoru [7]

Na *obr. 3 - 2* je zobrazena voltampérová charakteristika běžného tyristoru se základními parametry, kterými jsou:

- U_R – závěrné napětí
- U_D – blokovací napětí
- U_T – propustné napětí
- I_R – závěrný proud
- I_D – blokovací proud
- I_T – propustný proud
- I_G – proud hradla

tato charakteristika se skládá ze tří částí:

- **Závěrná část** – vyznačuje se velkým odporem, je shodná s charakteristikou diody.
- **Blokovací větev** – charakterizující stav, kdy je na tyristoru kladné napětí, ale tyristor je nevodivý. Průchod proudu je blokován velkým vnitřním odporem. Přivedením proudového impulsu na řídicí elektrodu tyristoru G přejde činnost tyristoru na propustnou větev.
- **Propustná větev** – tyristor vede, proud je úměrný vlastnostem obvodu.

U tyristorů rozlišujeme mezi rychlými a pomalými tyristory.

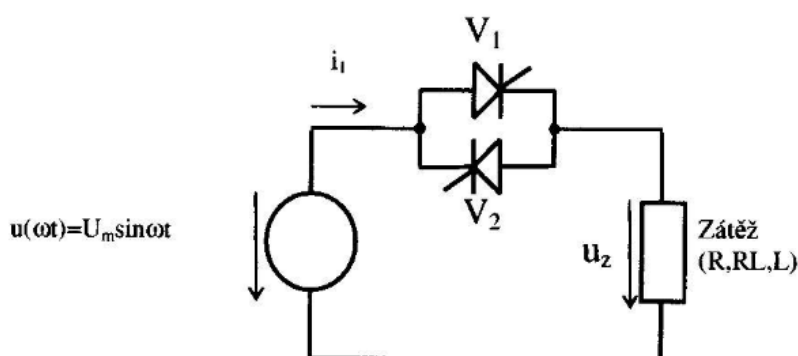
POMALÉ – Pro síťové aplikace s fázovým řízením se používají pomalé tyristory s označením PCT, které jsou vhodné právě pro síťové frekvence 50 – 60 Hz. Používají se v řízených usměrňovačích, regulátorech střídavého napětí nebo softstartérech.[9]

RYCHLÉ – Spínací rychlé tyristory, většinou s bránovým vypínacím efektem, se označují jako IGCT nebo GTO tyristory a jsou používány ve střídačích a pulzních zdrojích. Pro navýšení jmenovitých parametrů se tyto prvky řadí do série – zvýšení závěrného napětí, nebo paralelně – zvýšení propustného proudu.[9]

3.1.2. Střídavý měnič napětí

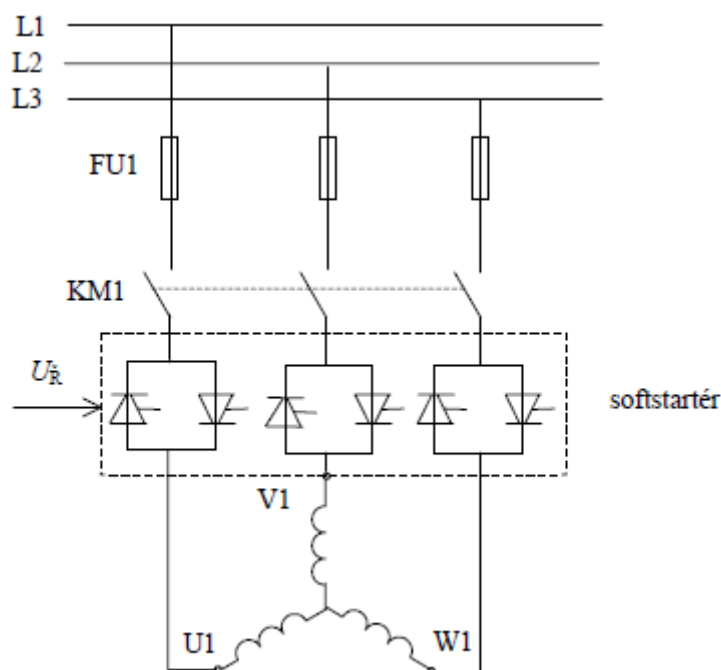
Střídavé měniče napětí jsou používány k řízení napětí (tedy i proudu a výkonu) u střídavé zátěže. V podstatě si je lze představit jako plynule regulovatelný snižovací transformátor s výhodou bezkontaktního spínání. Používají se pro řízení výkonu elektrotepelných spotřebičů (elektrické odporové pece, domácí spotřebiče), pro řízení výkonů indukčních motorů menších a středních výkonů (ventilátory, čerpadla, jeřáby) a drobné pohony s komutátorovými motory (nářadí, vysavače apod.). Pokud se spínání odehraje pouze v první periodě a obvod je nadále sepnutý, hovoříme o střídavém spínači napětí. Výkonové obvody spínačů jsou tedy stejné jako u měničů napětí, liší se pouze způsobem řízení. [7]

Střídavé měniče napětí lze rozdělit podle připojené zátěže na jedno a třífázové. Základem všech těchto měničů je ovšem antiparalelní zapojení dvou tyristorů. [7]



Obr. 3 - 3 Jednofázový střídavý měnič napětí [7]

Na obr. 3 - 3 je základní schéma jednofázového střídače napětí. V případě, že je uvažována pouze zátěž R, je možný rozsah řízení v celém intervalu, tedy $(0; \pi)$. Je-li zátěž R i L, je nutné, aby energie, která se akumuluje na indukčnosti v intervalu kladné půlvlny proudu i_z , se mohla vybit v intervalu záporné půlvlny i_z . Proto je rozsah řízení pouze v rozmezí $(\pi/2; \pi)$. [7]



Obr. 3 - 4 Základní zapojení třífázových měničů napětí (Softstartér) [2]

Při třífázové zátěži typu L je odebíraný činný výkon nulový, takže první harmonická proudu je zpožděna o $\pi/2$ za napětím. Podobně, jako u jednofázového, pracuje i třífázový měnič pro interval řízení $0 < \alpha < \pi/2$ jako spínač. V intervalu $\pi/2 < \alpha < 2\pi/3$ se postupně střídají takty se dvěma a se třemi sepnutými tyristory. Proud je nepřerušovaný. Při $2\pi/3 < \alpha < 5\pi/6$ odpadají některé takty a proud je přerušovaný.

3.1.3. Řízení rozběhu pomocí softstartéru

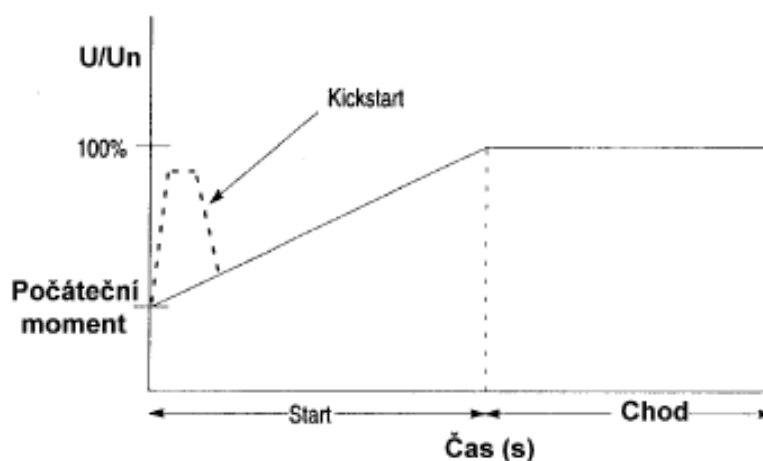
Řízení rozběhu bývá nejčastěji dvěma základními způsoby:

a) Nastavením časového sklonu nárůstu výstupního napětí (rampy)

Tento režim je určen pro nejběžnější aplikace. Podle druhu softstartéru je záběrný moment motoru nastaven v rozmezí od 0 do 90 % jmenovitého momentu. Při rozběhu se hodnota momentu zvyšuje vlivem narůstajícího napětí přiváděného ze softstartéru na svorky motoru. Doba rozběhu je nastavitelná obvykle od 0 do 30 sekund. Jestliže procesor

softstartéru vyhodnotí dosažení odpovídajících otáček, pak se výstupní napětí automaticky přepne na plné napětí. [5]

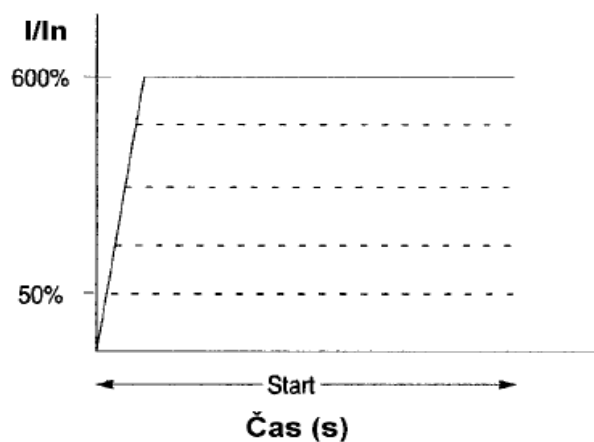
Některé aplikace potřebují značný momentový puls na počátku rozběhu k „utrnutí“ zátěže pro rozjezd. Ten je realizován proudovým impulsem velikosti 550 % jmenovité hodnoty proudu softstartéru po dobu od 0 do 2 sekund (tzv. „Kickstart“ nebo napěťový „Boost“). [5]



Obr. 3 - 5 Rozběh motoru pomocí časové rampy[5]

b) Nastavením proudového omezení během rozběhu

V tomto režimu je rozběh motoru realizován s pevně omezeným proudem. Používá se nejvíce tehdy, pokud je nutné omezit rozběhový (záběrný) proud. Hodnota proudového omezení je nastavitelná v rozmezí od 50 do 600 % jmenovitého proudu motoru. Dobu omezení proudu lze nastavit od 0 do 30sekund (hodnoty platné pro SMC Dialog Plus). [5]



Obr. 3 - 6 Rozběh s proudovým omezením[5]

3.2. Frekvenční měnič

Frekvenční měnič (FM), často také nazývaný měnič kmitočtu, slouží na rozdíl od softstartéru, převážně v aplikacích, kde je potřeba regulace otáček. Ovšem v mnoha aplikacích je frekvenční měnič stále využíván pouze jako prostředek k řízenému startu a zastavení navzdory skutečnosti, že není potřeba žádná regulace otáček motoru během provozu. [6]

Měniče kmitočtu slouží k přeměně střídavého napětí a proudu jednoho kmitočtu na napětí a proud kmitočtu jiného. Spolu se změnou kmitočtu se musí měnit i hodnota výstupního napětí.

Používají se nejvíce ke kmitočtovému řízení rychlosti střídavých strojů s asynchronními i synchronními motory. Vlivem rostoucí nabídky a dostupnosti těchto měničů se jeví jejich použití v elektrických regulačních pohonech, jako nejperspektivnější. Měniče kmitočtu umožňují rozběh motorů bez proudového nárazu na síť a řízení jejich otáček v požadovaném pásmu. [7]

Hlavní výhody:

- značný rozsah regulace otáček motoru při konstantním momentu
- úspora elektrické energie
- snížení hlučnosti



Obr. 3 - 7 Příklady měniče kmitočtu SIEMENS (vlevo) a ABB (vpravo)

Základní funkční části frekvenčního měniče:

1. Usměrňovač

řízený/neřízený – je napájen jednofázovým nebo třífázovým napětím ze sítě a na svém výstupu má pulzující napětí.

2. Meziobvod

3 typy:

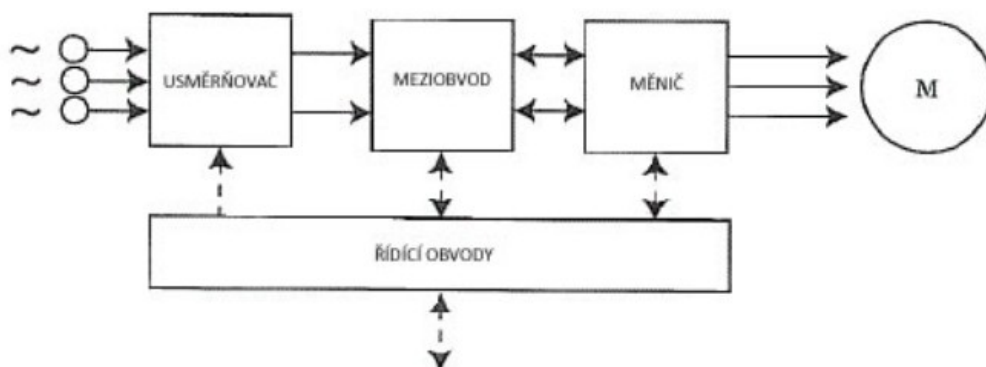
- měnící napětí usměrňovače na stejnosměrný proud
- stabilizující a vyhlazující pulzující napětí, které dodává do silové části FM
- měnící konstantní napětí z usměrňovače na proměnné napětí

3. Silová část FM (měnič)

Vytváří kmitočet napětí, které přivádíme k motoru

4. Řídicí elektronika

Posílá a přijímá signály z usměrňovače a zpět do usměrňovače, meziobvodu a silové části. Do kterých částí a jak řízení probíhá, závisí na konstrukci FM



Obr. 3 - 8 Struktura FM [8]

Základní dělení měničů kmitočtu:

a) dle počtu fází

- jednofázový
- třífázový
- m fázový

b) dle způsobu zapojení

- přímý měnič (tzv. cyklokonvertor)
- nepřímý měnič (se stejnosměrným obvodem)

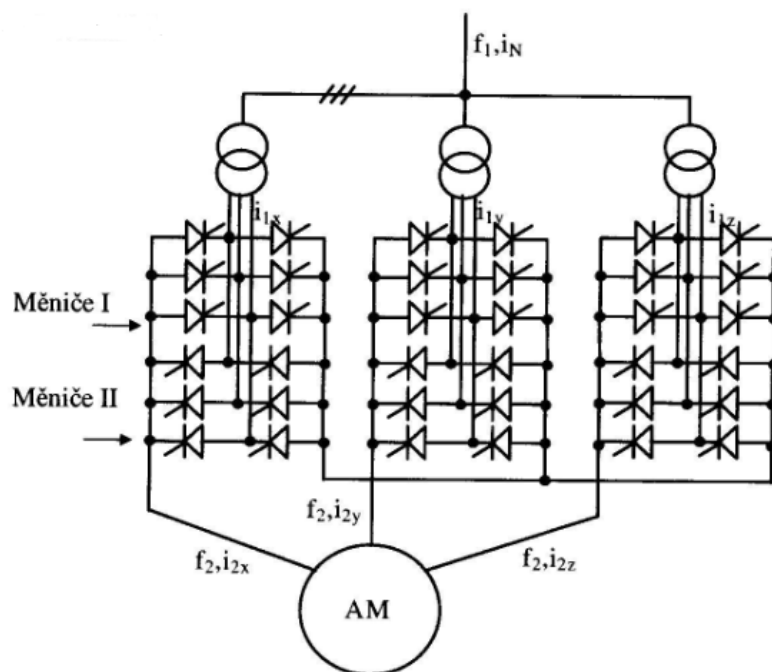
3.2.1. Přímé měniče kmitočtu

Přímé měniče kmitočtu mění přímo, bez mezistupně, síťové napětí a síťovou frekvenci na napětí s libovolnou hodnotou a frekvencí. Často se tyto měniče nazývají cyklokonvertory. Běžně se používají přímé měniče s vnější komutací, kde se dosahují výstupní kmitočty $\max. f_2 = (0,3 \text{ až } 0,5) f_1$. Používají se jako napájecí zdroje převážně pro pohony se střídavými motory velkých výkonů. [7]

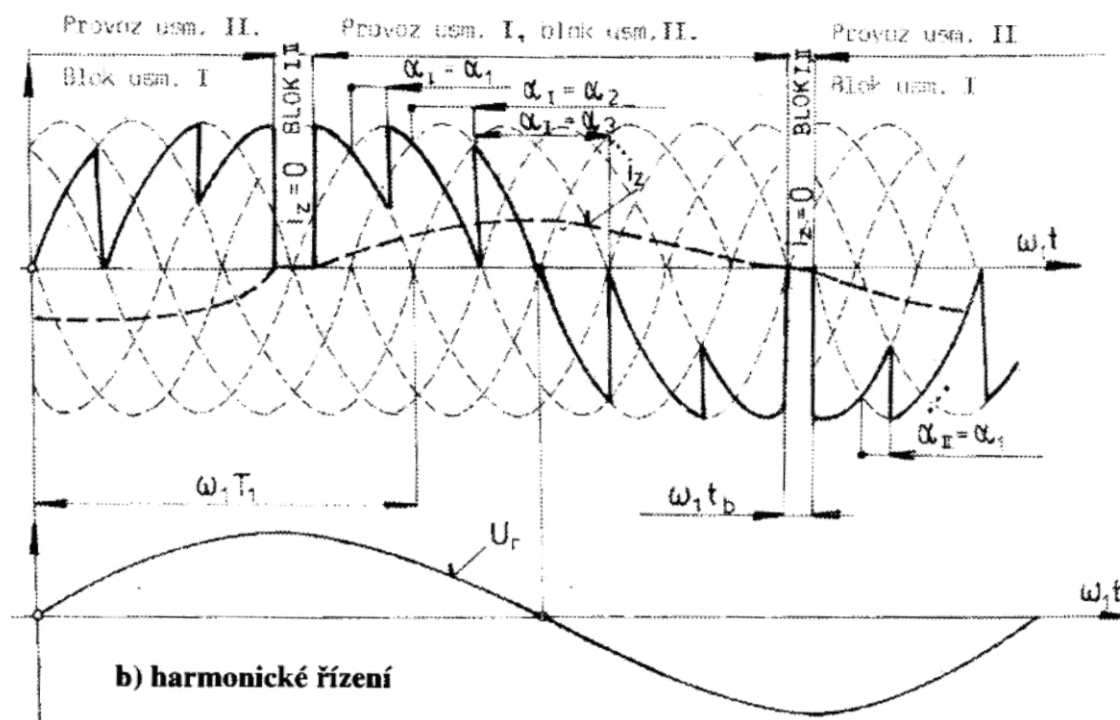
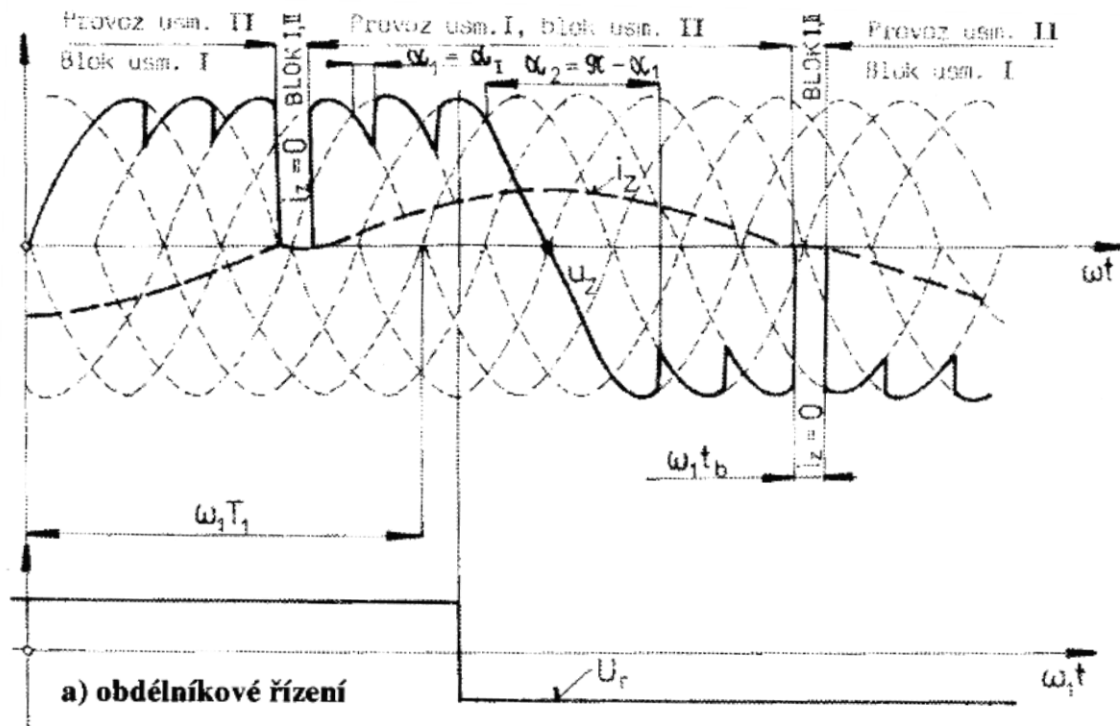
Cyklokonvertory se obvykle skládají ze dvou antiparalelně zapojených řízených usměrňovačů, které střídavě napájejí fázi zátěže.

Dělí se na měniče:

- s lichoběžníkovým výstupním napětím
- s kvazisinusovým výstupním napětím (tzv. harmonický měnič)



Obr. 3 - 9 Základní schéma třífázového přímého měniče kmitočtu [7]



Obr. 3 - 10 Průběh výstupního signálu u_r , výstupního napětí u_z a proudu i_z u přímých měničů kmitočtu [7]

3.2.2. Nepřímé měniče kmitočtu

Nepřímý měnič kmitočtu se skládá ze dvou částí: z usměrňovače, kde se usměrní napájecí napětí vstupního kmitočtu f_1 a ze střídače, který toto usměrněné napětí a proud “rozstřídá” s požadovaným kmitočtem f_2 . Protože oba střídavé obvody odděluje stejnosměrný meziobvod, je řízení výstupního kmitočtu umožněno zcela nezávisle na kmitočtu vstupním. U nepřímých měničů kmitočtu se vyrábějí výkony až stovky kW s frekvenčním rozsahem od desetin Hz do stovek Hz. [7]

Podle uspořádání dělíme tyto měniče:

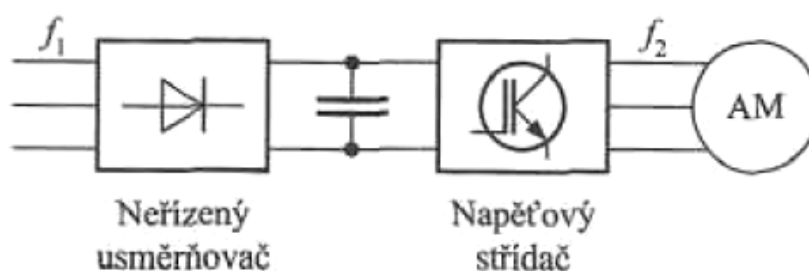
a) Nepřímé měniče kmitočtu se stejnosměrným napěťovým meziobvodem

Stejnosemřný meziobvod obsahuje velký elektrolytický kondenzátor (o velikosti běžně i jednotek mF) na vstupu do střídače. Stejnosemřný meziobvod se jeví vzhledem ke střídači jako napěťový zdroj. Kondenzátor umožní výměnu jalového výkonu mezi zátěží střídače a stejnosměrným meziobvodem pomocí změny smyslu proudu. [7]

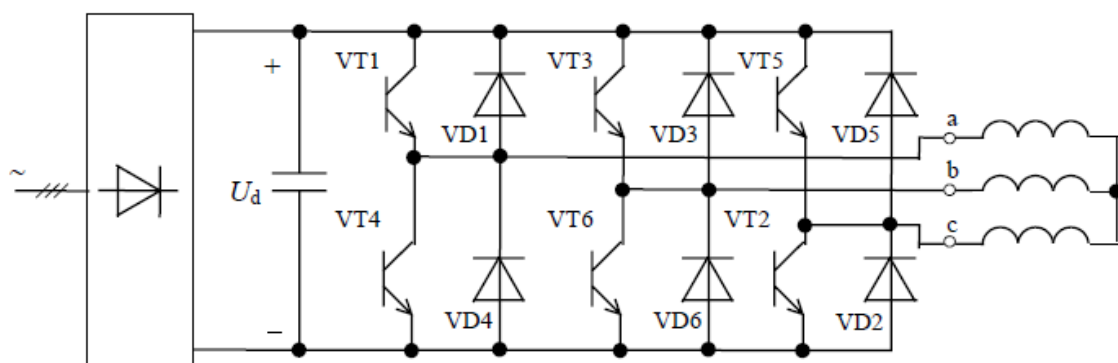
Usměrňovač je neřízený. Většinou se používá trojfázový můstek. Pokud je nutná rekuperace elektrické energie ze střídače (např. při brzdění asynchronního motoru), musí být energie mařena v odporu R, zapojeném ve stejnosměrném meziobvodu. [7]

Střídač je napěťový, jednofázový nebo třífázový, obvykle s vlastní komutací. [7]

Tento typ měničů je v průmyslových aplikacích nejpoužívanější.



Obr. 3 - 11 Struktura nepřímého měniče kmitočtu s napěťovým střídačem [10]



Obr. 3 - 12 Schéma zapojení napětového střídače [10]

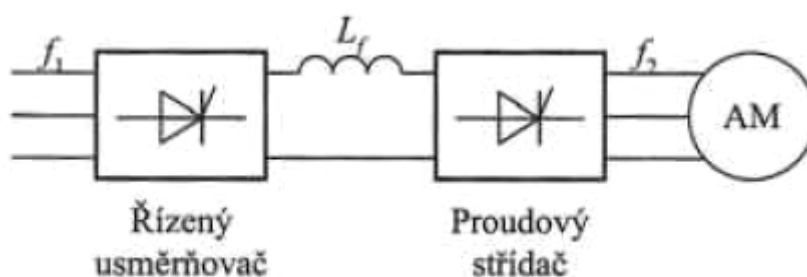
b) Nepřímý měnič kmitočtu se stejnosměrným proudovým meziobvodem

Stejnoscsměrný meziobvod obsahuje tlumivku (obvykle jednotky mH). Stejnoscsměrný obvod se vzhledem ke střídači chová jako zdroj proudu. Proud má proto ve stejnosměrném obvodu neměnný smysl. Výměnu jalového výkonu zprostředkovává tlumivka L (umožňuje krátkodobé změny smyslu napětí střídače, nezávisle na napětí usměrňovače). [7,11]

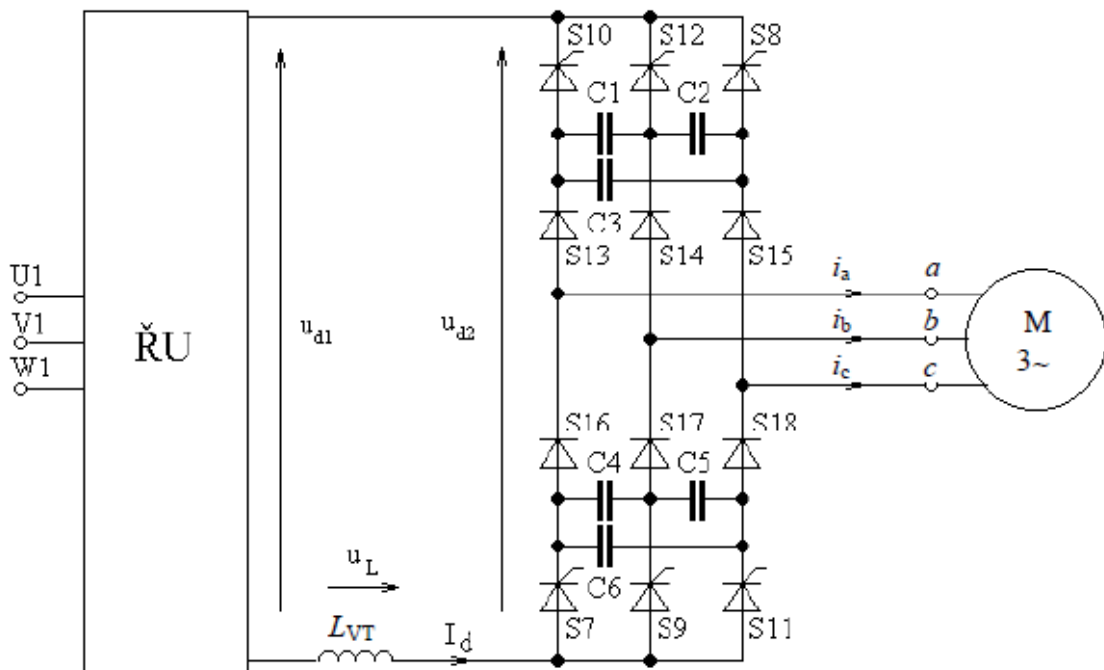
Usměrňovač je jedno nebo třífázový ve spojení uzlovém nebo můstkovém. Řízení proudu a napětí střídače může být jen amplitudové.

Střídač je proudový, zpravidla třífázový s vlastní komutací, řízení je pulzní šířkově modulované.

Vhodné pro pohony velkých výkonů (nad 1 MW)



Obr. 3 - 13 Struktura nepřímého měniče kmitočtu s proudovým střídačem [10]



Obr. 3 - 14 Schéma zapojení proudového střídače [10]

3.2.3. Porovnání jednotlivých druhů měničů kmitočtu:

PŘÍMÉ MĚNIČE KMITOČTU [7]

- Mění frekvenci sítě na nižší frekvenci přímo (ale pouze na nižší frekvenci)
- Pracují se sítovou komutací, není třeba pomocných komutačních obvodů, vhodné i pro velké výkony (desítky MW)
- Přenos energie vhodný oběma směry, výhodné pro aplikace s častým brzděním
- Kvalitní křivka napětí u_z i při nízkých frekvencích

NEPŘÍMÉ MĚNIČE KMITOČTU [7]

- Výstupní frekvence může být i vyšší než frekvence napájecí sítě
- Obsahují menší počet polovodičů, tedy jednodušší řídicí obvody
- Příznivější účinnost (nejlepší u měničů šířkovým řízením výstupního napětí)
- U napětových střídačů velmi dobrý účinnost odebraného proudu
- Menší negativní vliv na napájecí síť u proudových střídačů

3.2.4. Způsoby vnitřního řízení frekvenčního měniče

Při zanedbání úbytků napětí na statoru asynchronního motoru přibližně platí:

$$U_1 \approx \phi \cdot f_1 \quad (\text{V}) \quad (3.2)$$

Pokud bychom snižovali frekvenci při konstantním napětí na statoru, narůstal by magnetický tok Φ a tím i nasycení stroje a magnetizační proud. Docházelo by ke zhoršení účinníku a účinnosti a vzrůstalo by oteplení stroje[1]. Z tohoto důvodu je nutné při změně frekvence měnit i velikost statorového napětí tak, aby magnetický tok $\Phi = konst.$, to znamená

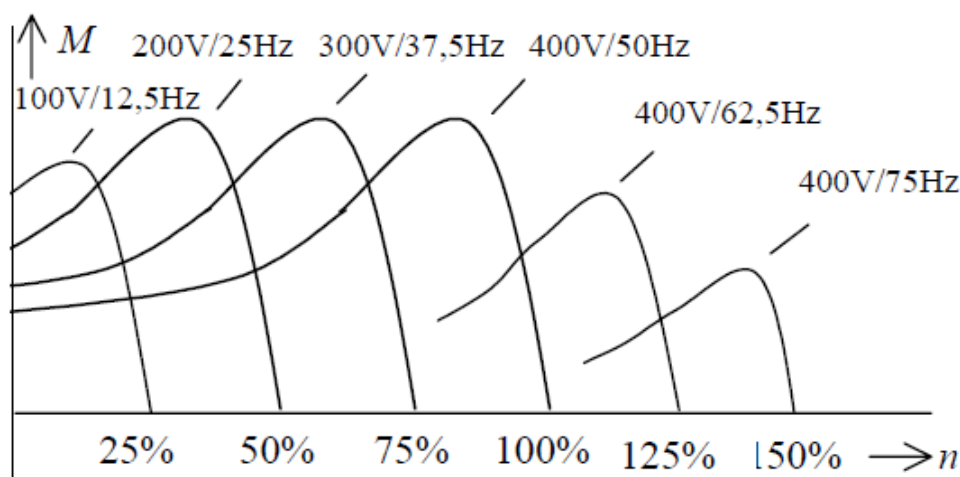
$$\frac{U_1}{f_1} = konst. \quad (3.3)$$

Na vztahu (3.3) je založen první způsob řízení:

SKALÁRNÍ

- Postupné zvyšování napětí a kmitočtu na vstupu asynchronního motoru při jejich konstantním poměru. Jedná se o řízení v otevřené smyčce bez zpětné vazby. Tvar momentových charakteristik tím zůstává zachován s tím, že jednotlivé charakteristiky jsou pro různě velké kmitočty posunuty. Velikost maximálního momentu je konstantní. To ovšem neplatí v oblasti malých kmitočtů, kdy se projevuje vliv odporu statoru, který je při sníženém kmitočtu poměrně velké hodnoty vzhledem k reaktancím. Potřebné napětí je pak vyšší než podle vztahu (3.3) a dochází k poklesu momentu. Při kmitočtech vyšších než 50 Hz lze řízení provádět jen při konstantním napětí a proto opět dochází k poklesu momentu. [1,2]

Skalární řízení je dynamicky nejpomalejší, ale pro jednoduché úlohy plně vyhovuje.



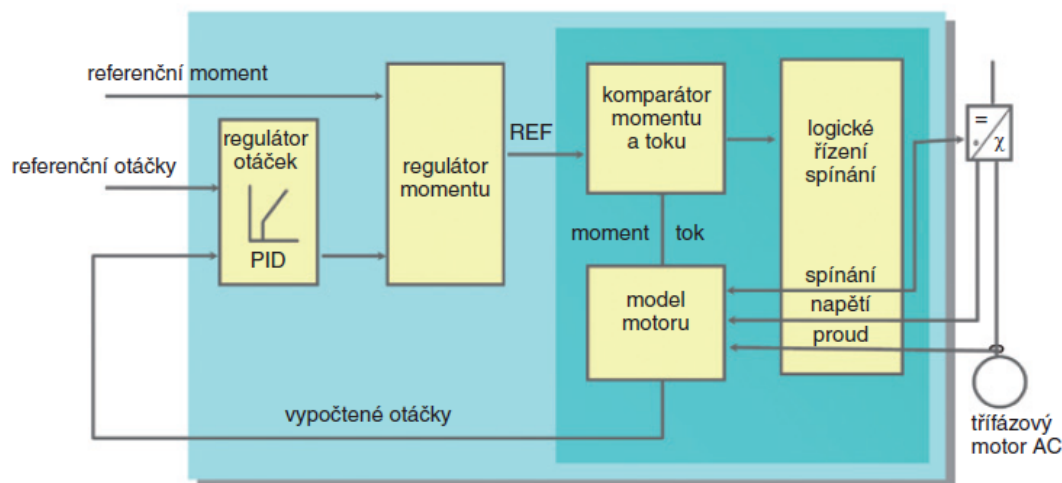
Obr. 3 - 15 Průběh momentových charakteristik při skalárním řízení motoru[2]

VEKTOROVÉ

- V měniči typu U/f (skalárních), se nastavuje pouze amplituda (případně efektivní hodnota) napětí, tzn. i magnetického toku a proudu (skluz motoru). Moment asynchronního motoru závisí nejen na magnetickém toku a na proudu, ale také na úhlu mezi nimi (sin úhlu). Největší moment asynchronního motoru je tehdy, jestliže proud je posunut o 90° vzhledem k magnetickému toku. To nám však jednoduchý měnič nezajistí. U vektorového řízení jednak nastavujeme amplitudu těchto hodnot, ale také řídíme jejich vzájemnou fázi. Existují dva základní principy, a to přímé a nepřímé vektorové řízení. Toto rozlišení je podle toho, jakým způsobem se zjišťuje poloha vektoru magnetického toku (kde má sever). Nejdříve se tato pole měřila přímo Hallovy snímači, což však znamenalo zásah do motoru. Dnes existují dva způsoby [11]:
- **přímý** - měří polohu magnetického pole tím, že snímá napětí na statoru a proud a pomocí mikropočítače zjistí polohu magnetického pole výpočtem
- **nepřímý** - počítá skluz (skluzový model), zde se měří rychlost rotoru, připočítává skluzová rychlost a dostává rychlost magnetického pole.

PŘÍMÉ ŘÍZENÍ MOMENTU (DTC – Direct Torque Control)

- V současné době asi nejdokonalejší způsob řízení. Jádrem systému jsou hysterezní regulátory momentu a magnetického toku, které využívají optimalizovanou spínací logiku, čímž odpadá prvek modulátoru. Velmi důležitou částí řízení je přesný model motoru, ve kterém se vypočítává skutečný moment, statorový magnetický tok a otáčky hřídele z proudu měřeného ve fázích motoru a ze stejnosměrného napětí v meziobvodu. Tyto výpočty jsou během jedné sekundy uskutečněny 40 000krát, takže DTC regulátor přesně ví, jak se chová hřídel motoru. Přesnost modelu motoru závisí na tzv. identifikačním běhu, který proběhne při uvádění pohonu do provozu. Hlavními parametry modelu jsou indukčnosti a odpor statoru a dále vliv magnetické indukce na velikost indukčností. [3]



Obr. 3 - 16 Blokový diagram přímého řízení momentu [3]

3.2.5. EMC – Elektromagnetická kompatibilita

Elektromagnetická kompatibilita (EMC – Electro Magnetic Compatibility) zařízení zjednodušeně znamená, že smí generovat jen tak velké rušivé signály, které by neovlivňovaly jiná zařízení a zároveň musí být toto zařízení odolné tak, aby nebylo rušeno od ostatních zařízení. EMC je ukotveno normami. Výrobky, jako jsou frekvenční měniče, musí těmto normám vyhovovat. [3]

Platí pro ně hlavně tyto normy:

ČSN EN 61800 – 3 *Systémy elektrických výkonových pohonů s nastavitelnou rychlostí – Část 3 (Požadavky EMC a specifické zkušební metody)*

ČSN EN 61000 – 6 – 1 *Elektromagnetická kompatibilita – odolnost – prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu*

ČSN EN 61000 – 6 – 2 *Elektromagnetická kompatibilita – odolnost – průmyslové prostředí*

ČSN EN 61000 – 6 – 3 *Elektromagnetická kompatibilita – emise – prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu*

ČSN EN 61000 – 6 – 4 *Elektromagnetická kompatibilita – odolnost – průmyslové prostředí*

ČSN EN 55011 *Elektromagnetická kompatibilita – definice limitů emisí VF rušení pro pohony*

Hodnoty rušivých signálů pro obytné zóny jsou pochopitelně přísnější.

Pro dodržení těchto hodnot je potřeba:

- vhodné vlastní provedení měniče
- instalace odrušovacích filtrů
- stíněný přívodní silový kabel k motoru

Měniče frekvence generují vyšší harmonické složky proudu, což vede k přídavným ztrátám v transformátorech, kabelech i motorech a ke zhoršování kvality elektřiny v napájecích sítích. Snahou předních výrobců je potlačit emise vyšších harmonických přímo v místě jejich vzniku. Harmonické složky proudu lze omezit konstrukcí, kdy se pro větší výkony volí vícepulzní zapojení vstupního usměrňovače. Dalším prvkem jsou tlumivky na střídavé straně nebo ve stejnosměrném meziobvodu. Stejnosměrná tlumivka bývá menší a levnější pro pohony menších výkonů. Střídavá tlumivka lépe potlačuje napěťové špičky ze sítě a bývá levnější pro pohony větších výkonů. [3]

K odstranění rušení o vysoké frekvenci je nutné použít vstupní odrušovací filtr, který může být již v měniči integrován.

3.3. Srovnání softstartéru a frekvenčního měniče

SOFTSTARTÉR – Obecně lze říci, že softstartér použijeme tam, kde je velký záběrný proud, který potřebujeme omezit, nebo tam, kde záběrný moment způsobuje trhání, rázy či jiné mechanické problémy. [6]

Výhody:

- Plynulý rozběh
- Omezení záběrného proudu a momentu
- Cena

Nevýhody:

- Nelze s ním regulovat rychlost otáčení
- U těžkých rozběhů by se pohon nemusel rozběhnout (nízký záběrný moment)

Aplikace:

- Rozjezd neregulovaných pohonů bez nutnosti velkého záběrného momentu

FREKVENČNÍ MĚNIČ – Použijeme tam, kde je potřeba řídit otáčky pro regulaci dopravovaného množství daného média, čímž docílíme úspory energie. Měnič kmitočtu se dá popsat také jako dokonalý softstartér (nízký záběrný proud a vysoký záběrný moment), je tedy vhodný v aplikacích s těžkým rozjezdem.

Výhody:

- Zcela klidný rozběh
- Snadná, rychlá a přesná regulace (úspora energie)
- Vysoký dosažitelný moment (kolem 150% jmenovitého momentu)
- Proud ze sítě odebírán s $\cos \varphi$ blízkým jedné (není potřeba instalovat kompenzaci účinníku)
- Účinnost přibližně 98%
- Malé opotřebení poháněného zařízení
- Redukce hluku

Nevýhody:

- Zdroj elektromagnetického rušení (EMC)
- Vznik ložiskových proudů
- Přídavné ztráty v motoru způsobené měničem frekvence
- Bez použití tzv. sinusového filtru je omezena délka kabelu (dáno typem měniče)
- Cena

Aplikace:

- Řízení čerpadel, ventilátorů, pasových dopravníků, řízení jeřábů a výtahů, rozběh drtičů, dopravníků atd.

4. Porovnání rozjezdu pomocného pohonu softstartérem a měničem kmitočtu na základě provedeného měření

Pro porovnání a vyhodnocení rozjezdů pomocného pohonu kola těžního stroje, jsem provedl dvě měření. Tato měření byla vždy s asynchronním motorem podobných parametrů.

$P = 22 \text{ kW}$, $U = 400 \text{ V}$ (SchRs 1550), $U = 500 \text{ V}$ (KU 800)

- a) První měření probíhalo na rypadle SchRs 1550, kde je pomocný pohon kola spouštěn pomocí softstartéru.
- b) Druhé měření rozjezdu motoru pomocí frekvenčního měniče probíhalo na rypadle KU 800, jelikož na žádném rypadle není pomocný pohon spouštěn frekvenčním měničem. Provedené měření je z pohonu zdvihu kabiny řidiče.

Hodnoty rozjezdů motorů pomocného pohonu kola u SchRs 1550 a zdvihu kabiny řidiče na velkstroji KU 800 byly získány analyzátozem kvality elektrické energie **G4500 BLACKBOX**.

4.1. Analyzátor kvality el. energie G4500 BLACKBOX

Analyzátor kvality elektrické sítě a energie Elspec G4500 Blackbox je novou generací analyzátorů kvality elektrické energie. Poskytuje přesnou detekci a izolaci problémů týkající se všech parametrů el. energie. Jeho jedinečnost spočívá v technologii záznamu dat používanou výhradně společností Elspec. Přístroj provádí nepřetržitý záznam všech měřených veličin s hustotou záznamu až 1024 vzorků na jednu periodu síťového napětí (50 Hz).

G4500 BLACKBOX zachytí a uloží časové průběhy všech měřených kanálů s rozlišením až 1024 vzorků na periodu. Všechny požadované parametry jsou dopočítávány ze zaznamenaných průběhů při analýze v PC. Díky návaznosti na skutečné časové průběhy je možné dopočítat libovolný parametr. Žádná událost, která se na síti objeví, tedy nemůže uniknout. [12]



Obr. 4 - 1 Přenosný analyzátor kvality elektrické energie G4500 BLACKBOX

Vstupní kanály:

- 4x AC napětí do 1000 V
- 4x AC proud (volitelné proudové kleště nebo ampflex)
- 1x DC napětí 1000 V
- 1x AC/DC proud (volitelné AC/DC kleště)
- 1x teplota
- 6x 5 až 24 V DC

Všechny vstupy je možné nakonfigurovat podle převodů měřících transformátorů (umožňuje měřit na VN), jednotlivé vstupy lze nezávisle invertovat a zaměňovat jednotlivé fáze (možnost opravy chybného připojení až v PC při zpracování dat).

Vysoká přesnost při měření proudu

Proudové převodníky (kleště, ampflex) jsou kalibrovány přímo s konkrétním vstupem konkrétního analyzátoru G4500. Výsledkem toho je dosažení velmi vysoké přesnosti měření proudu (až 0,1 %).

Každému vstupu je tedy přiřazena jedna konkrétní sonda, přičemž analyzátor započítává do výsledku měření korekční hodnoty zapsané při kalibraci.

U běžných analyzátorů se dosahuje přesnosti při měření proudu v nejlepším případě 2 %, běžně však chyba měření činí cca 5 %.

Vysoká přesnost časové základny

Synchronizace časové základny analyzátoru může být realizována pomocí SNTP připojení přes ethernet nebo pomocí GPS modulu.

Komunikace a možnost připojení k PC

Elspec G4500 BLACKBOX pro komunikaci používá 3 ethernetové porty 3x 10/100Mb Ethernet, 1x RS232, 1x RS 485. Při instalaci analyzátoru je výhodné využít pro komunikaci s PC WiFi připojení. [12]

Práce s naměřenými daty, zobrazení naměřených výsledků

Z hlediska zpracování dat vychází G4500 BLACKBOX z modelu Elspec G4400 Blackbox (pevného analyzátoru kvality elektrické energie). Naměřená data komprimovaná procedurou PQZIP jsou průběžně ukládána do vnitřní paměti analyzátoru. Po připojení k PC (ethernet, WiFi) jsou tato data automaticky přenášena a zpracována pomocí softwre PQ Scada Management. Tento software může běžet jako služba na pozadí v PC a zcela automaticky se starat o přenos dat z analyzátoru do PC. Soubory analyzátoru typu PQZIP jsou zde převáděny do SQL databáze (PQ Scada Management je navržen jako systémové řešení pro monitoring sítě v mnoha odběrných uzlech, umožňuje tedy správu několika analyzátorů současně). Do SQL databáze volně přistupuje software pro zobrazení a zpracování dat PQ Scada Investigator, pomocí kterého je možné zpětně zobrazit nebo dopočítat libovolný parametr. [12]

Výhody analyzátoru Elspec G4500 [12]:

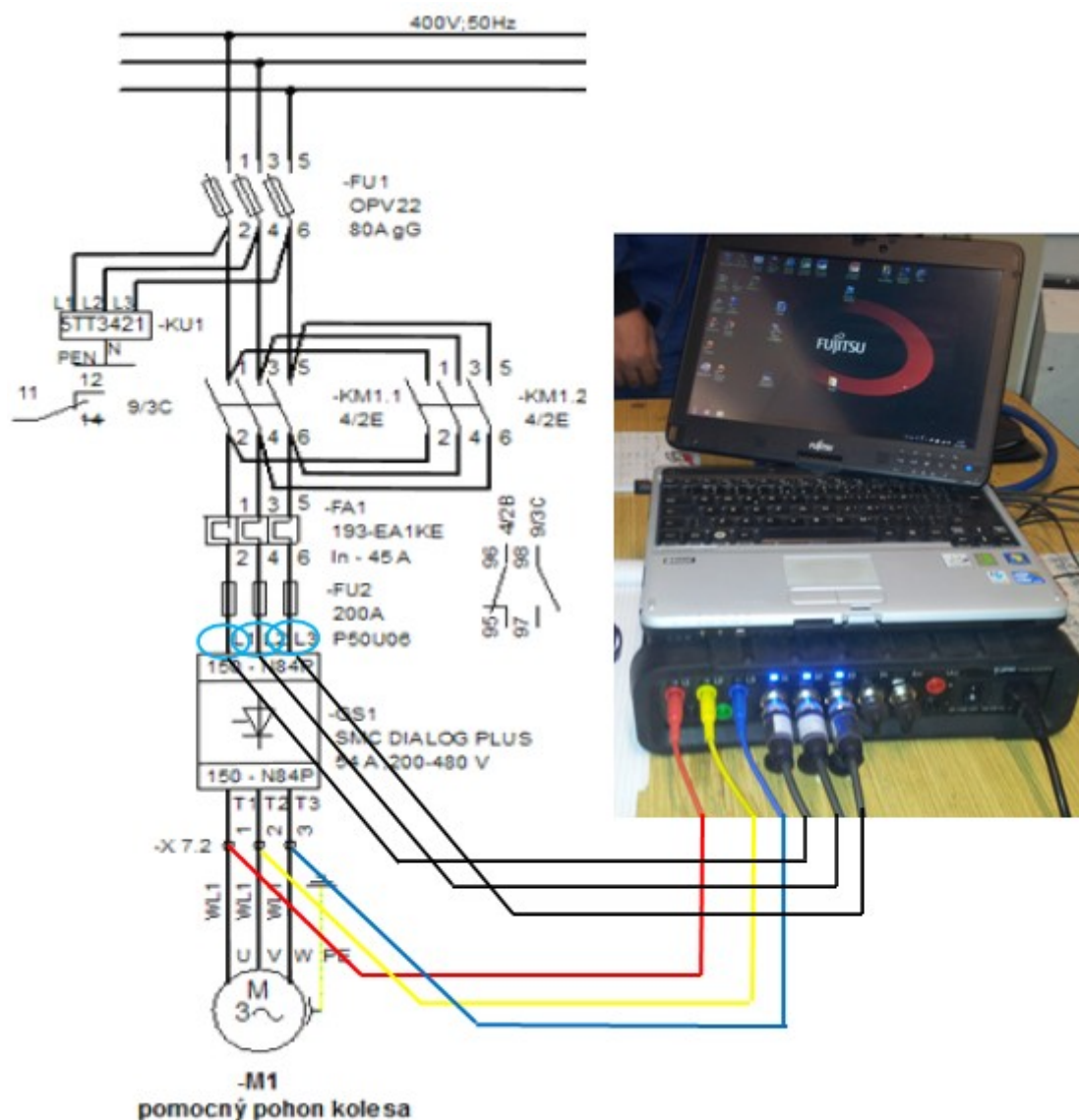
- Nepřetržitý záznam časových průběhů na všech měřených kanálech
- Délka záznamu až 1 rok
- Automatická zpráva stahování naměřených dat
- 100% kompatibilita se software pro systém stálého monitoringu sítě G4400 (možnost začlenění do tohoto systému)
- Velmi přesná časová synchronizace
- Vysoká přesnost měření proudu
- Měření stejnosměrného napětí a proudu
- Možnost konfigurace vstupů podle převodových poměrů měřících transformátorů (možnost měření na VN)
- Dodávka obsahuje Tablet PC s dotykovou obrazovkou, který zajistí 100% kompatibilitu s G4500

Tab. 2 Specifikace analyzátoru G4500 BLACKBOX [12]

Počet kanálů	11 měřicích kanálů, 4 U AC, 4 I AC, 1 U DC, 1 I DC, 1 teplota
Napájení	85-260V AC, 120- 370V DC a 35- 55V DC, záložní baterie až na 2 hodiny, Super kapacitor na 0-25 sekund přerušení napájení
Rozsah přímého měření napětí	1kV AC TRMS a 1kV DC
Rozměry (Š x V x H) mm	250 x 60 x 400 mm
Váha	3,7 kg
Proudové kleště	Autodetekce
Napěťové sondy	jištění pojistkou 500mA/1000V/50kA
RoHS	Plně vyhovuje
Prostředí	
Použití	vnitřní
Teplota	pracovní 0 až 50 C, skladovací -20 až 60 C
Vlhkost	85% bez kondenzace
Nadmořská výška	2000m
Měření v reálném čase	
Vzorkovací rychlost (všechny kanály)	Napětí: 1024 vzorků za periodu, Proud: 256 vzorků za periodu.
Harmonické	Napětí: do 511., proud do 127.
Interharmonické	Podle EN61000-4-30
Typ A/D převodníku	16/19 bitů
Záznam dat a průběhu	
Rozlišení časové základny	LAN Ethernet nebo GPS+PPS: 50ns
Vnitřní paměť	32 GB (s kompresí 32TB)
Analýza kvality	
Detekce transient	19,5/16us
Komunikace a V/V porty	
Ethernetové porty	3x 10/100Mb Ethernet
Power over Ethernet (PoE)	dostupné jako výstup 13W
Wi.Fi interface	802.11 b/g s anténou
Sériový interface	1x RS 232, 1x RS 485
Digitální V/V	6x 5-24VDC digitální vstupy rozšiřitelné
Rozšiřovací slot	PCMCIA
Display	Mobile Analysis Lab tablet PC
Komunikace	Internet, Tntranet, GPRS, 3G Dial-up modem
Časová synchronizace	SNTP, IRIG-B GPS, vlastní

4.2. Rozjezd pomocí softstartéru

Rozjezd motoru pomocného pohonu kola pomocí softstartéru probíhal na rypadle SchRs 1550 umístěného na prvním skryvkovém řezu provozu DNT (Doly Nástup Tušimice). Softstartér je umístěn v rozvodně nn horní stavby rypadla, rozvaděči RM 7.2.



Obr. 4 - 2 Zapojení při měření rozjezdu softstartérem

Analyzátor G4500 byl pro měření rozjezdu asynchronního motoru pomocného pohonu kola zapojen dle Obr. 4 - 2 na předchozí stránce.

Napětí bylo snímáno na výstupu ze softstartéru na svorkách 1, 2 a 3 svorkovnice X7.2.

Proud byl snímán pomocí flexibilních převodníků střídavého proudu ampflex ze vstupu softstartéru .

Po “nafázování“ jsem přistoupil k samotnému měření ve spolupráci s řidičem rypadla, který spouštěl pomocný pohon kola z kabiny řidiče.

Pro měření jsem použil dva základní režimy rozběhu softstartéru:

- a) CURRENT LIMIT (omezený proud)
- b) SOFT - START (měkký rozběh)

V obou případech je výsledkem nasnímaný průběh U, I, P a $\cos \varphi$ v časové ose.

4.2.1. Rozjezd v režimu Current limit

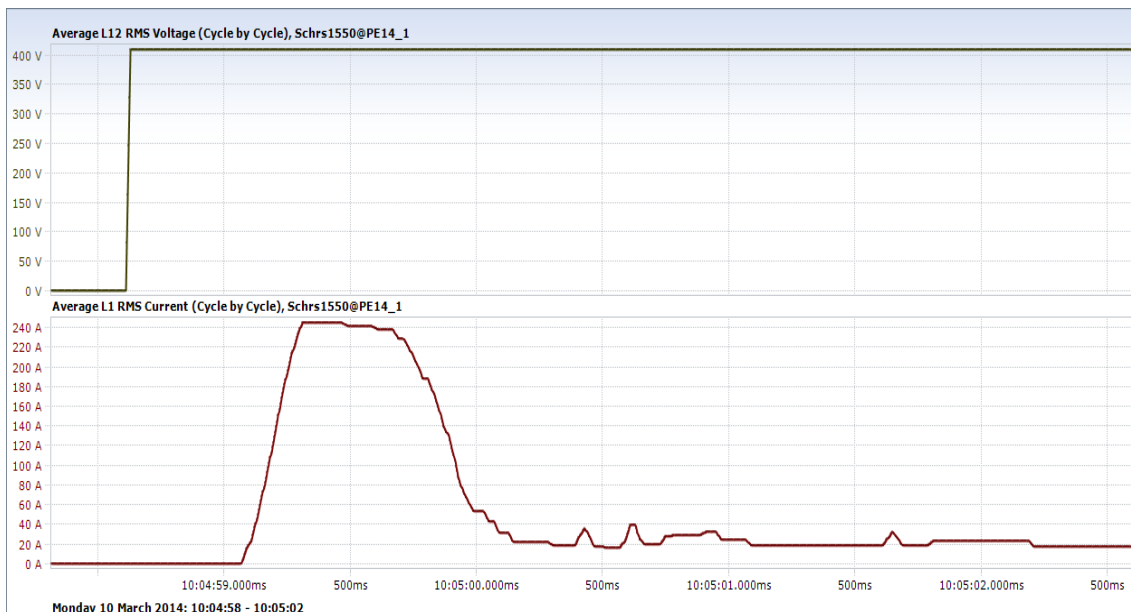
V režimu rozjezdu Current limit byly nastaveny tyto parametry:

Tab. 3 Nastavení parametrů softstartéru pro režim current limit

číslo parametru	funkce	nastaveno
28	režim rozběhu	current limit
30	doba rampy 1	5 sec.
34	proudové omezení	600%

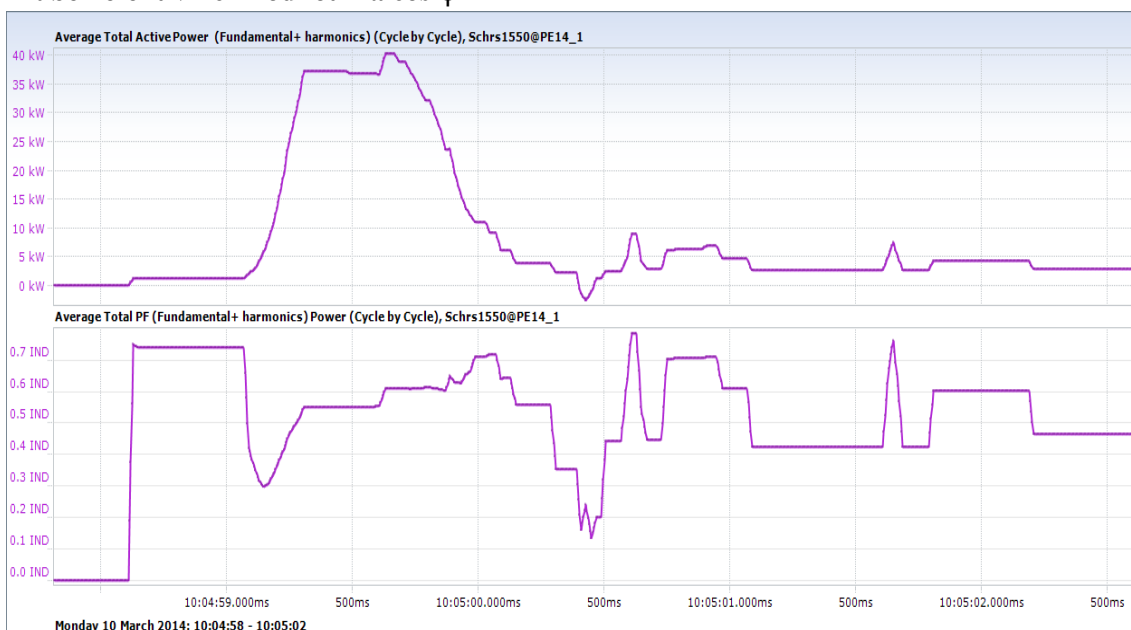
Ostatní parametry zůstaly podle původního nastavení.

Průběh efektivních hodnot U a I



Obr. 4 - 3 Průběhy ef. hodnot U a I v režimu Current limit

Průběh efektivních hodnot P a cos φ



Obr. 4 - 4 Průběhy ef. hodnot P a cos φ v režimu Current limit

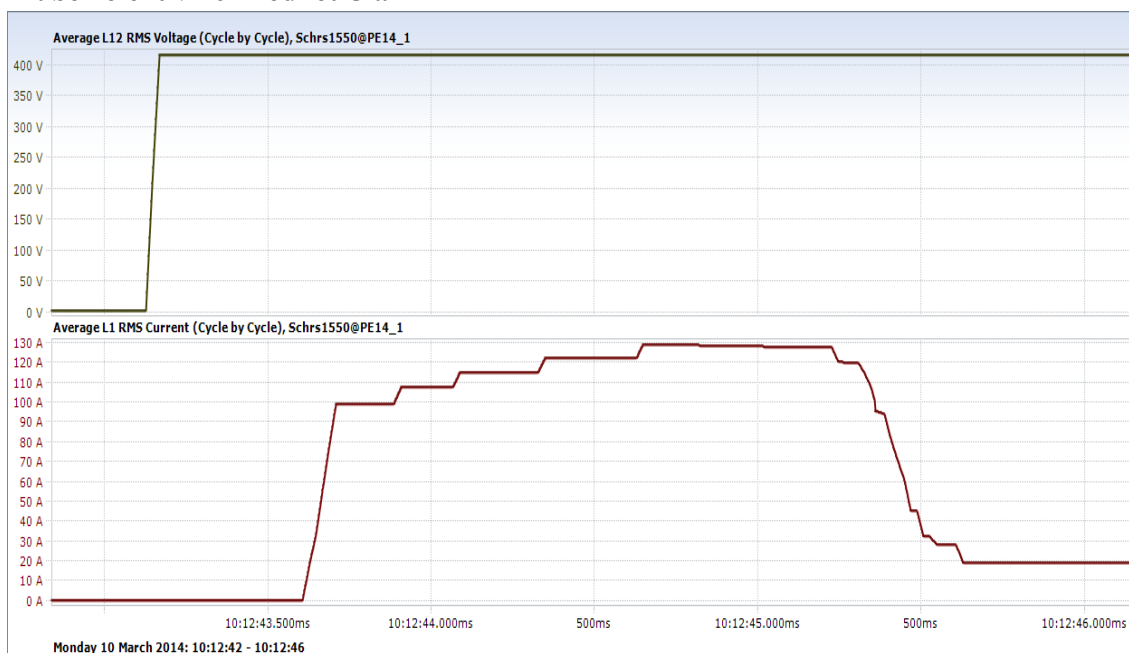
4.2.2. Rozjezd v režimu Soft-start

V tomto režimu rozjezdu bylo nastaveno:

Tab. 4 Nastavení parametrů softstartéru pro režim Soft-start

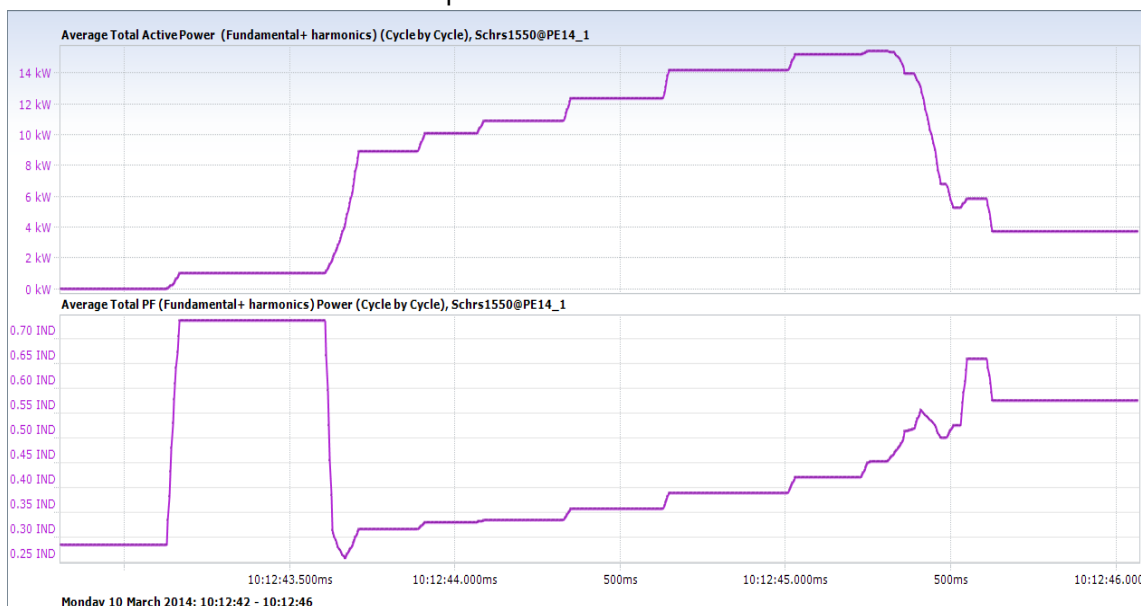
číslo parametru	funkce	nastaveno
28	režim rozběhu	Soft - start
30	doba rampy 1	5 sec.

Průběh efektivních hodnot U a I



Obr. 4 - 5 Průběhy ef. hodnot U a I v režimu Softstart

Průběh efektivních hodnot P a $\cos \varphi$



Obr. 4 - 6 Průběhy ef. hodnot P a $\cos \varphi$ v režimu Softstart

4.3. Rozjezd frekvenčním měničem

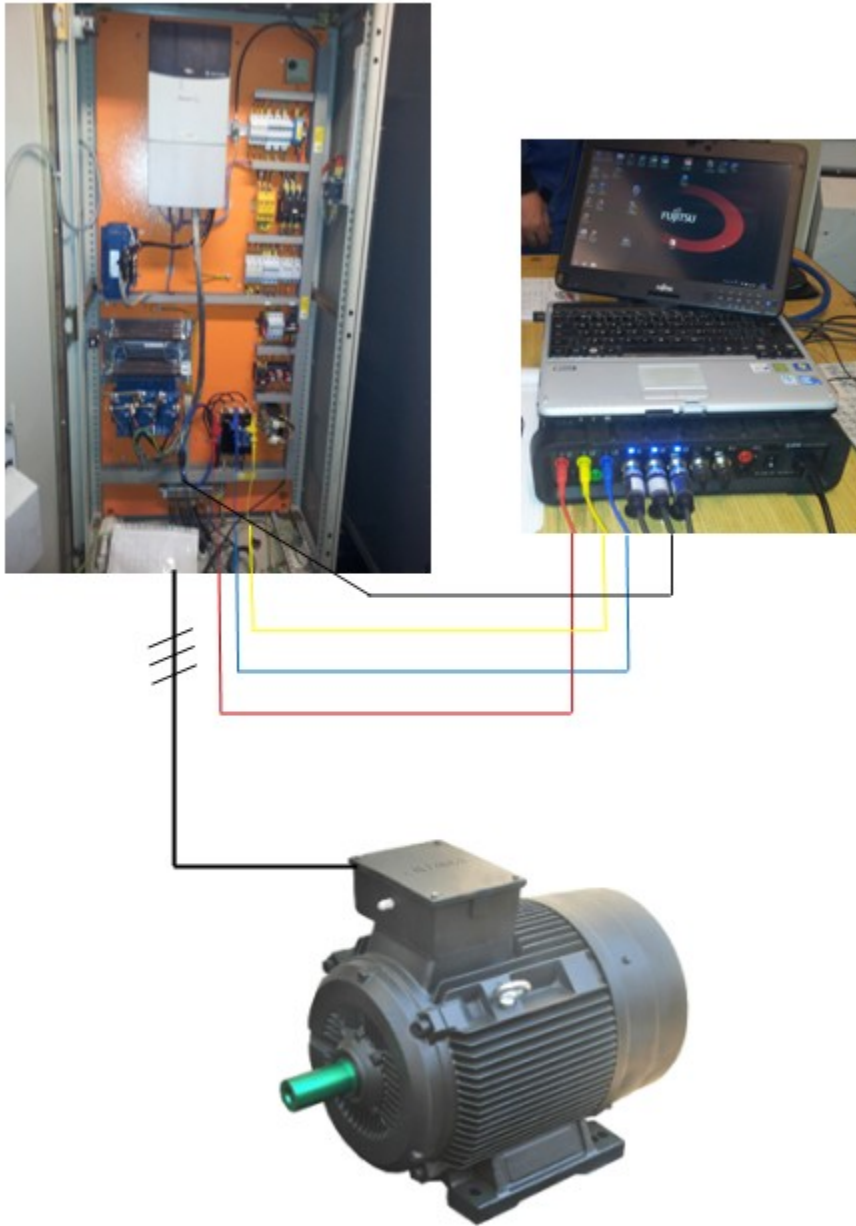
Jak už bylo zmíněno, vzhledem k tomu, že na žádném rypadle není pomocný pohon kola spojen s frekvenčním měničem, proběhlo měření na rypadle KU800, kde frekvenční měnič pohání motor zdvihu kabiny řidiče. Tento motor má podobné parametry a stejný výkon. Frekvenční měnič je umístěn v rozvodně horní stavby rypadla v samostatném rozvaděči, označeném RM9.11.

SLOŽENÍ SESTAVY:

Frekvenční měnič PowerFlex 700

3f asynchronní motor MEZ F200L06 (22kW, 500V, 33.5A, 970 ot/min)

Měření proběhlo opět pomocí analyzátoru kvality elektrické energie G4500 BLACKBOX firmy Elspec. Měření bylo provedeno při rozjezdu nezátížené kabiny (pouze řidič) směrem nahoru a poté zatížené kabiny (celkem 4 osoby) opět směrem nahoru.

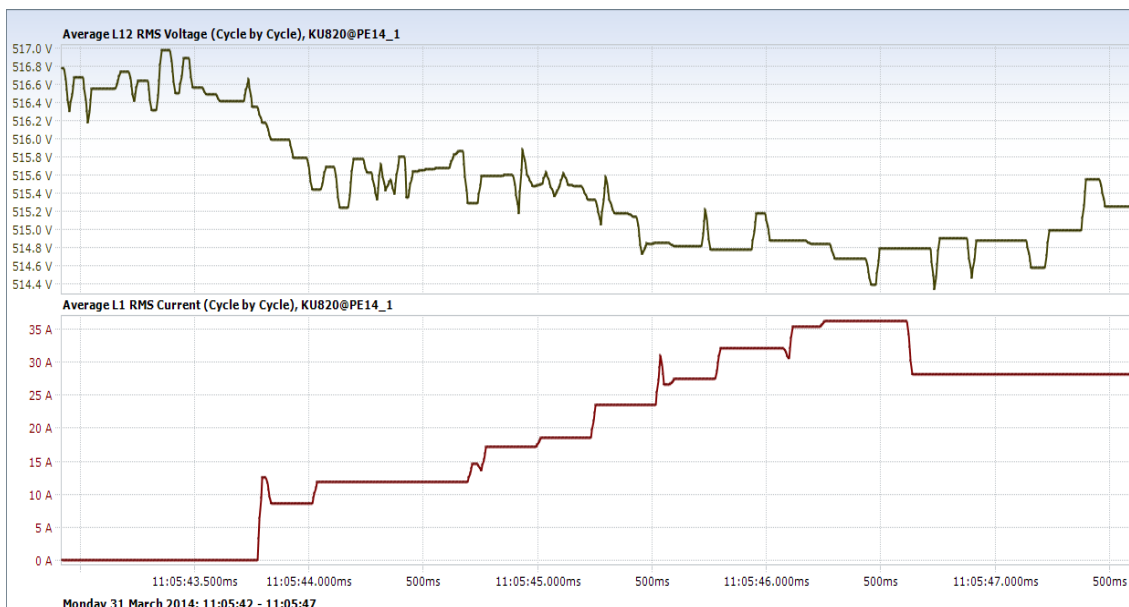


Obr. 4 - 7 Zapojení analyzátoru pro měření s měničem kmitočtu

4.3.1. Rozjezd nezatížená kabiny

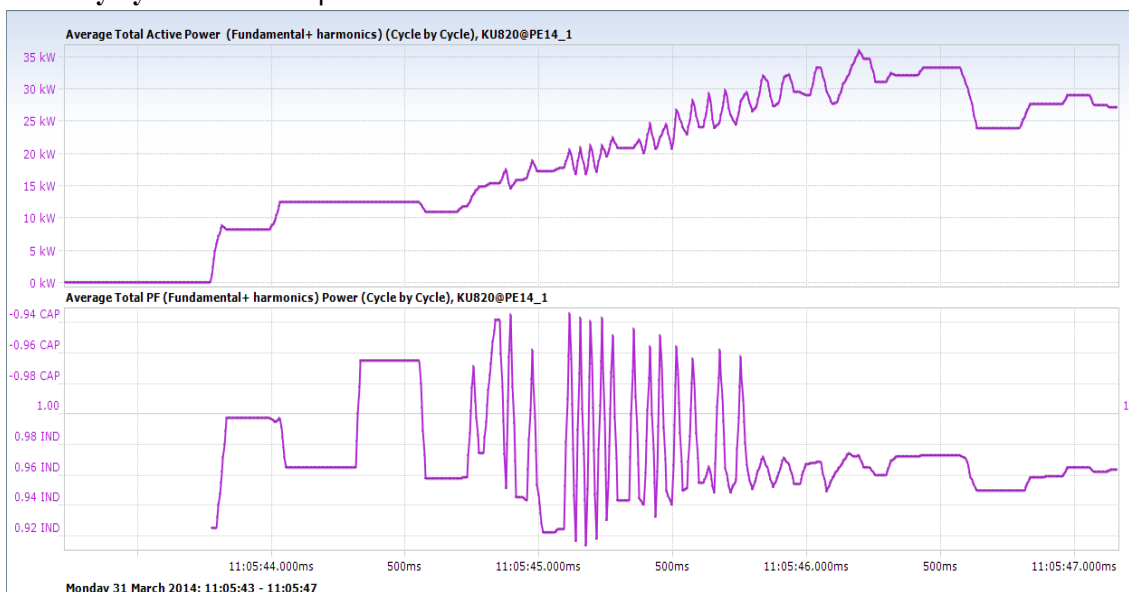
Výsledkem měření jsou následující průběhy efektivních hodnot napětí U , proudu I , výkonu P a účinníku $\cos \varphi$ v čase.

Průběh ef. hodnot U a I



Obr. 4 - 8 Průběhy efektivních hodnot U a I při nezatížené kabině

Průběhy výkonu P a $\cos \varphi$

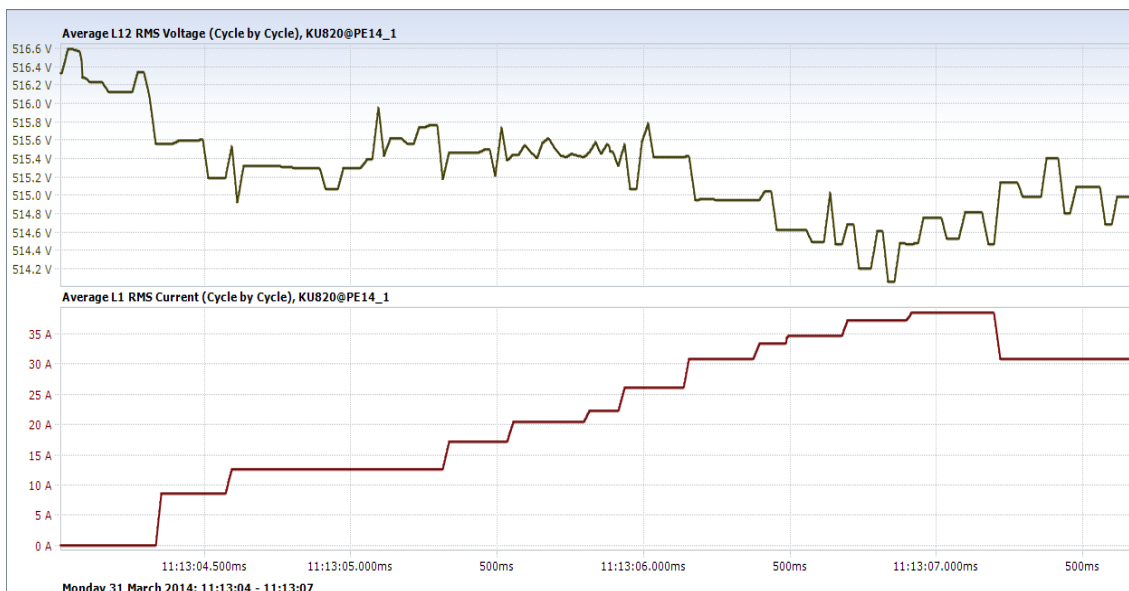


Obr. 4 - 9 Průběhy P a $\cos \varphi$ při nezatížené kabině

4.3.2. Rozjezd zatížené kabiny

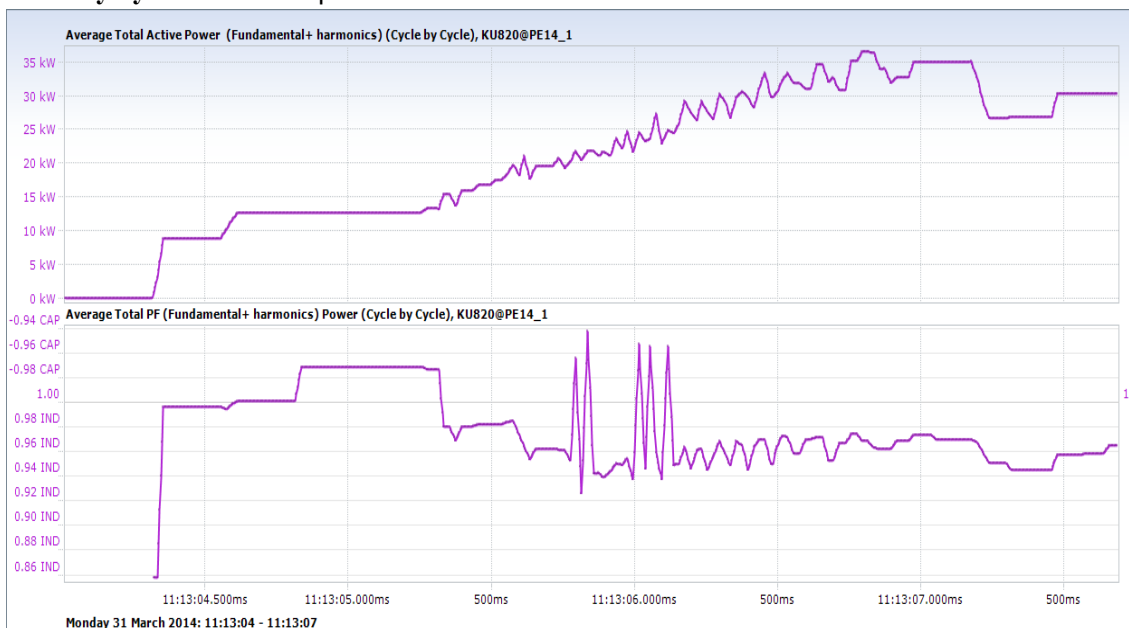
V tomto případě byla kabina řidiče zatížena dalšími 3 pracovníky. Celková hmotnost kabiny byla zvýšena o cca 255kg.

Průběh ef. hodnot U a I



Obr. 4 - 10 Průběhy ef. hodnot U a I při rozjezdu zatížené kabiny

Průběhy výkonu P a $\cos \varphi$



Obr. 4 - 11 Průběhy ef. hodnot P a $\cos \varphi$ při rozjezdu zatížené kabiny

5. Návrh rekonstrukce pohonu s frekvenčním měničem

5.1. Motor

Současné provedení pohonu je s motorem SIEMENS 1LG4 207 6AA60-Z, který je patkového provedení s vlastním chlazením. Tento motor je přímo vhodný pro napájení z měniče kmitočtu, tudíž jeho náhrada není nutná. Parametry jsou popsány v kapitole 2.1. Pro zlepšení vlastností motoru, je výhodnější motor **dovybavit**.

Hluk – Při provozních otáčkách vyšších než jmenovitých dochází u motorů s vlastní ventilací ke zvýšení ventilačního hluku. K omezení úrovně hluku motoru při vyšších otáčkách, ale také z důvodu zajištění dostatečného chlazení motoru při nízkých otáčkách, se doporučuje použít provedení s cizí ventilací. Cizí ventilace může být dodána samostatně a její označení podle katalogu SIEMENS je G17 [4]



Obr. 5 - 1 Modul cizí ventilace

Tab. 5 Parametry cizí ventilace

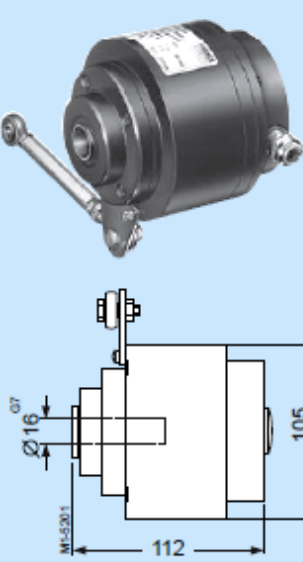
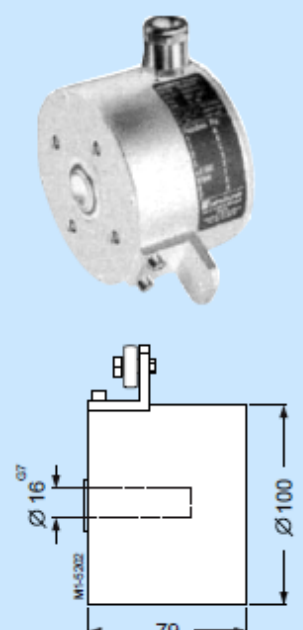
Technické údaje cizí ventilace							
Osová výška	Počet pólů	Typ cizí ventilace	Rozsah jmenovitých napětí V	Kmitočet Hz	Otáčky min ⁻¹	Jmenovitý výkon kW	Jmenovitý proud A
180 až 200	všechny	2CW2 300	od 200 do 290	50	2690	0,269	0,95
			od 346 do 500 Y	50	2690	0,269	0,55
			od 200 do 290	60	2980	0,364	0,84
			od 346 do 500 Y	60	2980	0,364	0,48

Snímač otáček – Kvůli informaci o otáčkách rotoru lze motor dovybavit impulsním snímačem otáček.

Typ **HOG10 D** je robustní konstrukce a proto je vhodný pro použití ve ztížených podmínkách. Motor však musí být pro tuto možnost předem upraven.

Typ **LL 861900220** je velmi robustní konstrukce a je tedy vhodný ve zvláště ztížených podmínkách a je otřesu-vzdorný. [4]

Tab. 6 Parametry snímačů otáček (typ HOG10 D nahoře, LL861900220 dole)

	Napájecí napětí U_B	+9 V až +30 V
	Vstupní proud naprázdno	cca 100 mA
	Připustný výstupní proud při zatížení	60 mA, ve špičce 300 mA
	Počet impulsů na 1 otáčku	1024
	Výstupy impulzy A, B a A, B	4 zkratuvzdorné obdélníkové
	Posun impulsů dvou výstupů	$90^\circ \pm 20\%$
	Výstupní amplituda	$U_{High} \geq U_B - 3.5 V$ $U_{Low} \leq 1.5 V$
	Snímací poměr	1 : 1 $\pm 20\%$
	Strmost hran impulsů	10 V/ μ s
	Připustný kmitočet	120 kHz
	Připustné otáčky	4000 min ⁻¹
	Teplota okolí	-20 °C až +100 °C
	Stupeň ochrany krytem	IP 66
Připustné radiální zatížení	150 N	
Připustné axiální zatížení	80 N	
Způsob připojení	Připojovací svorky, ucpávková vývodka se závitem M20 x 1,5	
	Napájecí napětí U_B	+9 V až +30 V
	Vstupní proud naprázdno	90 mA
	Připustný výstupní proud na výstupu	40 mA
	Počet impulsů na 1 otáčku	1024
	Výstupy	6 zkratuvzdorných obdélníkových výstupů z A, A, B, B, 0, 0
	Posun impulsů dvou výstupů	$90^\circ \pm 25^\circ$ el.
	Výstupní amplituda	$U_{High} > 20 V$ $U_{Low} < 2.5 V$
	Snímací poměr	1 : 1 $\pm 10\%$
	Strmost hran impulsů	50 V/ μ s naprázdno
	Připustný kmitočet	100 kHz s 350 m kabelem
	Připustné otáčky	3500 min ⁻¹
	Teplota okolí	-20 °C to +80 °C
	Stupeň ochrany krytem	IP 65
Připustné radiální zatížení	300 N	
Připustné axiální zatížení	100 N	
Způsob připojení	Připojovací svorky, ucpávková vývodka se závitem M20 x 1,5, radiální připojení kabelu	

5.2. Měníč frekvence

Pro napájení motoru pomocného pohonu jsem vybral měnič frekvence od firmy **Allen-Bradley**, modelové řady **PowerFlex 70**. Jedním z důvodů výběru, kromě jména světově proslulé firmy s dlouhou historií a praxí v oboru, byl fakt, že na rypadle SchRs 1550 jsou již systémy a měniče této firmy zavedeny.

Výběr výkonové řady jsem zvolil podle výkonu a napájecího napětí motoru, tedy 22kW a 400V. Těmto požadavkům vyhovuje typ PowerFlex 70 – 20AC (043) vybraný podle následující tabulky. Jelikož výstupní proud je v tomto případě nižší než jmenovitý proud současně instalovaného motoru pomocného pohonu, je možné zvolit měnič z výkonové řady o krok vyšší, tedy **PowerFlex 70 – 20AC (060)**

Tab. 7 Modelové řady PowerFlex 70 [13]

Řada PowerFlex 70	20AC (kód)												
Kód	1P3	2P1	3P5	5P0	8P7	011	015	022	030	037	043	060	072
Výkon (kW)	0,37	0,75	1,5	2,2	4,0	5,5	7,5	11	15	18,5	22	30	37
Zdánlivý příkon (kVA)	1,1	1,8	3,0	4,5	7,8	7,6	10,4	15,2	21,0	24,3	28,2	39,3	47,8
Výstupní proud (A)	1,3	2,1	3,5	5,0	8,7	11,5	15,4	22	30	37	43	60	72
Vstupní proud (A)	1,6	2,5	4,3	6,5	11,3	11	15,1	21,9	30,3	35,0	40,7	56,8	68,9

Tab. 8 Konstrukční provedení [13]

Typ konstrukce měniče	Výkonová řada (kW)	Rozměry (mm) V x Š x H	Váha (kg)
A Frame (bez filtru)	0,37 - 1,5	225,7 x 122,4 x 179,8	2,71
B Frame	0,37 - 4,0	234,6 x 171,7 x 179,8	3,60
C Frame	5,5 - 7,5	300,0 x 185,9 x 179,8	6,89
D Frame	11,0 - 22,0	350,0 x 219,9 x 179,8	9,25
E Frame	30,0 - 37,0	555,8 x 280,3 x 207,1	18,60

Základní programovatelné funkce měniče PowerFlex 70:

- Vektorové řízení Force Technology
- Řízení „Sensorless Vector“ (funkce, díky které měnič dosahuje vysoké přesnosti nastavení otáček bez nutnosti fyzické zpětné vazby)
- Skalární řízení
- Funkce letného startu
- Paměť chyb se záznamem časů
- Brzdění stejnosměrným proudem
- Test points (přímý přístup k vnitřním proměnným měniče)

Další vlastnosti:

- digitální nebo analogové monitorování provozních stavů měniče, motoru a chybových hlášení
- nastavitelná frekvence PWM modulace (2 – 10 kHz)
- optimalizace pohonu dle motoru a zátěže
- změna rychlosti motoru podle S-křivky
- rozsah kmitočtu v pásmu 0 – 500 Hz
- ovládání místně nebo dálkově po sériové lince
- možnost připojení termistoru od motoru
- uživatelské sady přepínatelné pomocí digitálního vstupu

Komunikace:

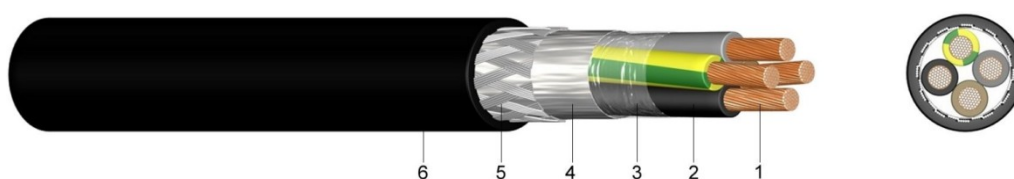
- komunikační modul HIM (Human Interface Module) – jednoduché nastavení a ovládání měniče, zobrazení na LCD se 7 řádky
- příp. Ethernet, DeviceNet, ControlNet, RS232/485 včetně Profibus, Interbus-S, Modbus, LonWorks, CANopen (moduly jsou jednotné pro všechny řady a jsou integrovány přímo do měniče)



Obr. 5 - 2 Měníč kmitočtu PowerFlex 700

5.3. Přívodní kabel k motoru

Z důvodů EMC je potřeba zaměřit se i na správný výběr přívodního kabelu k motoru pomocného pohonu napájeného z měniče kmitočtu. Napětí vzniklé v kabelech je při tomto způsobu napájení složeno z mnoha velmi ostrých VF napěťových pulzů. Tyto pulzy namáhají izolaci a způsobují další rušení. Je proto nezbytné použít **stíněný kabel**. Snahou je, aby impedance stínění kabelu byla co nejmenší, protože při vysokých frekvencích vede velké proudy. Pokud napájecí kabel vykazuje vysokou impedanci stínění, kde se kapacitní svodové proudy vrací k měniči, bude se tento proud šířit po ochranném zemnění a mohlo by docházet k možnému vyrovnávání potenciálů.



Obr. 5 - 3 Příklad stíněného kabelu

1) Holý, jemně laněný měděný vodič, 2) Izolace žil z polyetylénu (PE), 3) Ovin žil z umělohmotné fólie, 4) Stínění z PETP-Alu fólie, 5) Stínění opletem z pocínovaných měděných drát, 6) Vnější plášť z v chladu flexibilního polyvinylchloridu (PVC), černý

Na velikost rušení má tedy vliv i délka kabelu od měniče k motoru. Při rekonstrukci je tedy nutné nahlédnout do instalačního návodu k frekvenčnímu měniči daného výrobce. V našem případě je maximální akceptovatelná délka kabelu k motoru (pro PowerFlex 70) do 30m. Pro aplikace s větší délkou kabelů je potřeba užít výstupních odrušovacích prostředků, kterými jsou výstupní tlumivky, filtry du/dt nebo sinusové filtry.



Obr. 5 - 4 Sinusový filtr

Jelikož stávající instalace je provedena z rozvodny na horní stavbě rypadla a délka kabelu k motoru je přibližně 145 m, můžeme v rekonstrukci zachovat stávající umístění napájení z této rozvodny, za použití výše zmíněných prostředků pro odrušení, nebo je možné umístit napájení z FM blíže k motoru pomocného pohonu.



Obr. 5 - 5 Příklad uspořádání FM
ve venkovním rozvaděči

Závěr

Cílem této diplomové práce je zhodnotit rozjezd pomocného pohonu kola těžního stroje pomocí softstartéru a frekvenčního měniče na základě měření. Měření proběhla na dvou velkostrojích. Na rypadle SchRs 1550 je asynchronního motor napájen ze softstartéru a na rypadle KU800 je napájen z frekvenčního měniče.

Rozjezd softstartérem

První měření bylo s nastavením režimu omezeného proudu Current limit, kdy hodnota omezení byla nastavena na 600% hodnoty jmenovitého proudu s časovou rampou 5 sekund. Z obr. 4 – 3 je patrný strmý nárůst proudu po sepnutí softstartéru na hodnotu přibližně šestinásobku jmenovité hodnoty proudu motoru. V tomto stavu softstartér setrval přibližně 500ms a poté hodnota proudu klesala až na hodnotu pohybující se kolem 20A. To odpovídá stavu, kdy pomocný pohon dosáhl již jmenovitých otáček. Ačkoliv byla nastavena rampa 5s, celý rozběh trval cca 1s. To je způsobeno tím, že koleso bylo čisté, tedy nezatížené. Této situaci odpovídá i průběh účinníku na obr. 4 – 4. Již dvě vteřiny po rozjezdu je $\cos \varphi = 0,42$ a motor se blíží stavu při provozu naprázdno.

Lepší situace nastává v režimu rozběhu Soft-start s rampou 5s, kdy proud podle obr. 4 – 5 má strmý nárůst jen do hodnoty asi 100 A, který odpovídá nastavené hodnotě záběrného momentu. Další nárůst proudu je již pozvolný a dosáhne hodnoty asi 130 A. Motor dosáhl jmenovitých otáček a proud začal klesat. Celý rozběh trval přibližně 2s, ale jeho průběh je šetrnější k síti. To je patrné i z průběhu výkonu na obr. 4 – 6.

Rozjezd frekvenčním měničem

Měření proběhlo při nezatížené a zatížené kabině řidiče. Rozdíl v zatížení (3 muži \approx 255 kg) není z průběhů patrný. Celý rozběh trval přibližně 3s. Z průběhů na obr. 4 – 8 a obr. 4 – 10 je zjevný lineární nárůst proudu od nuly k jmenovité hodnotě. Z obr. 4 – 9 a obr. 4 – 11 lze vidět též průběh výkonů, který koresponduje s proudy. Ze stejných obrázků je patrná schopnost frekvenčních měničů udržet hodnotu účinníku $\cos \varphi$ na vysoké hodnotě, kterou neustále během provozu reguluje.

Konečné zhodnocení

Z výsledků měření je viditelné, že frekvenční měnič dokáže rozjet pohon téměř dokonale s nízkým záběrným proudem. Tento fakt je velkou výhodou oproti softstartéru, kde po dobu rozběhu motor odebírá ze sítě značný proud a tím je dosti tepelně namáhán. Při nutnosti velkého záběrného momentu by se nemusel pohon vůbec roztočit. Dalšími výhodami FM jsou již výše

zmíněná vysoká hodnota účinníku $\cos \varphi$ a možnost opravdu plynulé regulace otáček, což by bylo vhodné např. při výměně korečků kola i samotném čištění. Jedinou nevýhodou se tedy jeví jen cena takového frekvenčního měniče a náklady spojené s jeho instalací. V aplikacích bez nutnosti regulace postačí k rozjezdu softstartér s vhodným výkonem.

Literatura

- [1] CHMELÍK, Karel, POSPÍŠILÍK, Jiří, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Regionální centrum celoživotního vzdělávání. 2003. *Elektrické stroje v energetice*. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky. ISBN: 8024803143
- [2] KOCMAN, Stanislav. *Asynchronní stroje*. Katedra obecné elektrotechniky FEI VŠB – TU Ostrava. 2002.
- [3] PAVELKOVÁ, Naděžda. *Moderní pohony s asynchronními motory a měniči frekvence*. AUTOMA [online]. 5/2010. Dostupné z <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/41060.pdf>>
- [4] ELEKTROMOTORY SIEMENS. *Katalog, rozměry a technické informace elektromotorů řady ILG4* [online]. Dostupné z <<http://www.elektromotory.com>>
- [5] CONTROLTECH. *SMC Dialog Plus*. [online]. Dostupné z <<http://www.controltech.cz/cz/component/k2/item/42-smc-dialog-plus>>
- [6] ABB. *Softstartéry, Průvodce problematikou softstartérů*. [online]. Dostupné z <[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/dd33e4ab21ddb6d3c125764600480aeb/\\$file/softstarter-%20handbook.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/dd33e4ab21ddb6d3c125764600480aeb/$file/softstarter-%20handbook.pdf)>
- [7] KŮS, Václav, Fakulta elektrotechnická. *Elektrické pohony a výkonová elektronika*. Západočeská univerzita v Plzni. 2005. ISBN: 80-7043-422-8
- [8] pohonnatechnika.cz. *Škola – Frekvenční měniče*. [online]. Dostupné z <<http://www.pohonnatechnika.cz/frekvencni-menice>>
- [9] Učební texty. *Část pohony a výkonová elektronika*. [online]. Dostupné z <http://feil.vsb.cz/kat410/www453/soubory/texty/ucebni_texty/se/SEL3c.pdf>
- [10] Učební texty. 2004. *Základy výkonové elektroniky*. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky
- [11] HRNČIŘÍK, Karel. *Frekvenční měniče*. [online]. COPTTEL, internetový portál. Dostupné z <<http://coptel.coptkm.cz/index.php?action=2&doc=6285&docGroup=183&cmd=0&instance=1>>
- [12] BLUE PANTHER s. r. o., *Analyzátor kvality elektrické sítě Elspec G4500*. [online]. Dostupné z <<http://www.blue-panther.cz/analyzator-kvality-elektricke-site-elspec-g4500>>
- [13] CONTROLTECH. *PowerFlex 70*, [online]. Dostupné z <<http://www.controltech.cz/cz/component/k2/item/16-powerflex-70>>

Seznam obrázků

<i>Obr. 1 - 1</i> Magnetický tok jednoho pólu.....	3
<i>Obr. 1 - 2</i> Řez indukčním motorem	4
<i>Obr. 1 - 3</i> Úplné náhradní schéma asynchronního motoru	5
<i>Obr. 1 - 4</i> Výkonová bilance motoru	7
<i>Obr. 1 - 5</i> Momentová charakteristika AM	9
<i>Obr. 1 - 6</i> Momentové charakteristiky asynchronního motoru	11
<i>Obr. 1 - 7</i> Proudové charakteristiky různých typů rozběhů	11
<i>Obr. 2 - 1</i> Pohled na koleso rýpadla SchRs 1550 s umístěním pomocného pohonu	12
<i>Obr. 2 - 2</i> Detail pomocného pohonu kola.....	13
<i>Obr. 2 - 3</i> Umístění softstartéru v rozvaděči	13
<i>Obr. 2 - 4</i> Elektrické schéma připojení motoru.....	14
<i>Obr. 2 - 5</i> Situační schéma umístění pohonu a softstartéru a přibližné trasy kabelu	15
<i>Obr. 2 - 6</i> Asynchronní motor SIEMENS	17
<i>Obr. 2 - 7</i> Základní rozměry motoru 1LG4 207 6AA60-Z.....	18
<i>Obr. 2 - 8</i> Softstartér SMC Dialog Plus	19
<i>Obr. 3 - 1</i> Tyristor – značka	21
<i>Obr. 3 - 2</i> V-A charakteristika tyristoru	22
<i>Obr. 3 - 3</i> Jednofázový střídavý měnič napětí	23
<i>Obr. 3 - 4</i> Základní zapojení třífázových měničů napětí (Softstartér).....	24
<i>Obr. 3 - 5</i> Rozběh motoru pomocí časové rampy.....	25
<i>Obr. 3 - 6</i> Rozběh s proudovým omezením	25

<i>Obr. 3 - 7</i> Příklady měniče kmitočtu SIEMENS (vlevo) a ABB (vpravo)	26
<i>Obr. 3 - 8</i> Struktura FM	27
<i>Obr. 3 - 9</i> Základní schéma třífázového přímého měniče kmitočtu	28
<i>Obr. 3 - 10</i> Průběh výstupního signálu u_r , výstupního napětí u_z a proudu i_z	29
<i>Obr. 3 - 11</i> Struktura nepřímého měniče kmitočtu s napěťovým střídačem	30
<i>Obr. 3 - 12</i> Schéma zapojení napěťového střídače	31
<i>Obr. 3 - 13</i> Struktura nepřímého měniče kmitočtu s proudovým střídačem	31
<i>Obr. 3 - 14</i> Schéma zapojení proudového střídače	32
<i>Obr. 3 - 15</i> Průběh momentových charakteristik při skalárním řízení motoru	33
<i>Obr. 3 - 16</i> Blokový diagram přímého řízení momentu	35
<i>Obr. 4 - 1</i> Přenosný analyzátor kvality elektrické energie G4500 BLACKBOX	39
<i>Obr. 4 - 2</i> Zapojení při měření rozjezdu softstartérem	42
<i>Obr. 4 - 3</i> Průběhy ef. hodnot U a I v režimu Current limit	44
<i>Obr. 4 - 4</i> Průběhy ef. hodnot P a $\cos\varphi$ v režimu Current limit	44
<i>Obr. 4 - 5</i> Průběhy ef. hodnot U a I v režimu Softstart	45
<i>Obr. 4 - 6</i> Průběhy ef. hodnot P a $\cos\varphi$ v režimu Softstart	46
<i>Obr. 4 - 7</i> Zapojení analyzátoru pro měření s měničem kmitočtu	47
<i>Obr. 4 - 8</i> Průběhy efektivních hodnot U a I při nezatížené kabině	48
<i>Obr. 4 - 9</i> Průběhy P a $\cos\varphi$ při nezatížené kabině	48
<i>Obr. 4 - 10</i> Průběhy ef. hodnot U a I při rozjezdu zatížené kabiny	49
<i>Obr. 4 - 11</i> Průběhy ef. hodnot P a $\cos\varphi$ při rozjezdu zatížené kabiny	49

<i>Obr. 5 - 1 Modul cizí ventilace</i>	50
<i>Obr. 5 - 2 Měnič kmitočtu PowerFlex 70</i>	53
<i>Obr. 5 - 3 Příklad stíněného kabelu</i>	54
<i>Obr. 5 - 4 Sinusový filtr</i>	54
<i>Obr. 5 - 5 Příklad uspořádání FM</i>	55

Seznam tabulek

<i>Tab. 1 Stávající nastavení softstartéru SMC Dialog Plus</i>	20
<i>Tab. 2 Specifikace analyzátoru G4500 BLACKBOX</i>	41
<i>Tab. 3 Nastavení parametrů softstartéru pro režim current limit</i>	43
<i>Tab. 4 Nastavení parametrů softstartéru pro režim Soft-start</i>	45
<i>Tab. 5 Parametry cizí ventilace</i>	50
<i>Tab. 6 Parametry snímačů otáček (typ HOG10 D nahore, LL861900220 dole)</i>	51
<i>Tab. 7 Modelové řady PowerFlex 70</i>	52
<i>Tab. 8 Konstrukční provedení</i>	52