

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Návrh polovodičových měničů pro pohon kolesového  
rypadla**

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**Fakulta elektrotechnická**

**Akademický rok: 2015/2016**

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel ADLER**  
Osobní číslo: **E14N0137P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Průmyslová elektronika a elektromechanika**  
Název tématu: **Návrh polovodičových měničů pro pohon kolesového rypadla**  
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

### **Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :**

1. Nakreslete a popište elektrický a mechanický způsob pohonu kola.
2. Proveďte návrhy hodnot elektromotorů na základě mechanických a dynamických vlastností.
3. Řešte návrhy polovodičových měničů a topologii zapojení.
4. Určete možnost připojení do elektrické soustavy, včetně omezení EMC v NFR oblastech.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí diplomové práce:

**Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.**

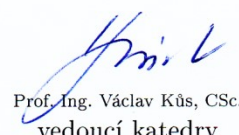
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **16. května 2016**

  
Doc. Ing. Jiri Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

## **Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na problematiku typového návrhu polovodičových měničů pro pohon kola kolesového velkorypadla KK1300. V práci je nejprve zobrazen a popsán elektrický a mechanický způsob pohonu kola. Dále jsou z požadavků na těžební výkon velkorypadla vypočteny parametry motorů pro pohon kola. Třetí část se zabývá vhodným zvolením polovodičových měničů firmy Siemens, pro zvolené pohony a jejich topologii zapojení. V poslední části je pak řešeno připojení do elektrické soustavy s ohledem na EMC.

## **Klíčová slova**

Velkorypadlo KK1300, skrývka, koreček, dobývací část, kolesový výložník, vrátek, obvodová síla, výkon, moment, moment setrvačnosti.



**Abstract**

The diploma thesis is focused on type design of semiconductor converters to drive the paddle big excavator KK1300. The first part is dedicated to show and describe method of electrically and mechanically way of wheel drive. In the second part are calculated parameters of wheel engines for big excavator. The third part deals with selecting suitable semiconductor converters for selected drives and their topology. The last part dealt with the connection to the electrical system with regard to EMC.

**Key words**

Big excavator KK1300, overburden, bucket, mining section, paddle outrigger, winch, circumferential force, performance, torque, moment of inertia

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....  
podpis

V Plzni dne 15.5.2016

Pavel Adler

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval odbornému konzultantovi diplomové práce Ing. Janu Podrapskému, Ph.D za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Dále bych rád poděkoval prof. Ing. Václavu Kůsovi, CSc. za vedení diplomové práce a nápomocné připomínky.

V poslední řadě bych poděkoval Ing. Petru Vágnerovi za velice nápomocnou exkurzi na stroj KK1300 a pánům ze společnosti Blumenbecker Prague Ing. Janu Bauerovi a Ing. Karlu Bejvlovi za nápomocné rady.

## Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1 VELKORYPADLO KK1300</b> .....	<b>11</b>
1.1 KONSTRUKCE RYPADLA KK1300 .....	12
1.1.1 <i>Dobývací část</i> .....	12
1.1.2 <i>Spojovací most</i> .....	14
1.1.3 <i>Podpěrný vůz</i> .....	15
1.2 ELEKTRICKÝ ZPŮSOB POHONU KOLESA .....	16
1.3 MECHANICKÝ ZPŮSOB POHONU KOLESA .....	17
<b>2 NÁVRH HODNOT ELEKTROMOTORŮ POHONU KOLESA</b> .....	<b>19</b>
2.1 ZADÁNÍ .....	19
2.2 VÝPOČET VÝKONU POHONU KOLESA .....	19
2.3 VÝPOČET MOMENTU .....	20
2.4 VÝPOČET DYNAMICKÉHO MOMENTU .....	20
2.5 SHRUTÍ PARAMETRŮ MOTORU .....	21
<b>3 NÁVRH POLOVODIČOVÝCH MĚNIČŮ</b> .....	<b>22</b>
FUNKCE STRÍDAČE .....	22
3.1 PRINCIP GENEROVÁNÍ STRÍDAVÉHO NAPĚTÍ .....	23
3.2 PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ VÝPOČET STRÍDAČE .....	24
3.2.1 <i>Přetížitelnost</i> .....	24
3.2.2 <i>Derating</i> .....	25
3.2.3 <i>Pomalů běžící aplikace</i> .....	26
3.3 VÝPOČET PARAMETRŮ STRÍDAČE .....	27
3.4 VÝPOČET PARAMETRŮ USMĚRŇOVAČE .....	29
3.5 MOŽNOST KOMPENZACE JALOVÉHO VÝKONU .....	32
<b>4 PROBLEMATIKA EMC</b> .....	<b>35</b>
4.1 VYJÁDRĚNÍ FOURIEROVY ŘADY .....	36
4.2 DĚLENÍ EMC .....	36
4.3 NORMY .....	37
4.3.1 <i>ČSN IEC 1000-2-1</i> .....	37
4.3.2 <i>ČSN EN 61000-2-2</i> .....	38
4.3.3 <i>ČSN EN 61000-2-4</i> .....	38
4.4 OMEZENÍ RUŠENÍ .....	40
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>42</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>43</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>44</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>44</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>45</b>
<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>1</b>

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

AFE	Active front end
ALM	Active line modul
$D_k$	průměr kola [m]
$F_{ojm}$	jmenovitá obvodová síla [N]
$i$	převodový poměr převodovky
$I_{(1)}$	fázor první harmonické proudu odebíraného ze zdroje [A]
$J$	moment setrvačnosti [ $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ ]
$k_D$	proudový derating
$L_\sigma$	rozptylová indukčnost transformátoru [mH]
$M_d$	dynamický moment [Nm]
$M_n$	jmenovitý moment motoru [Nm]
$M_z$	zátěžný moment [Nm]
$M_\Sigma$	celkový moment [Nm]
$n_k$	jmenovité otáčky kola [ $\text{ot}\cdot\text{min}^{-1}$ ]
$n_m$	jmenovité otáčky motoru [ $\text{ot}\cdot\text{min}^{-1}$ ]
$P$	výkon obou motorů [W]
$P_n$	jmenovitý výkon motoru [W]
$P_{1\text{motor}}$	výkon jednoho motoru [W]
$r_k$	poloměr kola [m]
THD	celkové harmonické zkreslení [%]
$u$	napětí zdroje [V]
$U$	fázor napětí zdroje [V]
$U_{V(1)}$	fázor první harmonické napětí na ALM [V]
$u_v$	napětí na ALM [V]
$\varepsilon$	úhel natočení napětí na zátěži oproti napětí zdroje [ $^\circ$ ]
$\eta_c$	účinnost převodovky [%]
$\omega$	úhlová rychlost [ $\text{rad}\cdot\text{sec}^{-1}$ ]

## Úvod

Předkládaná diplomová práce se věnuje problematice typového návrhu motorů a měničů firmy Siemens pro pohon kola velkorypadla KK1300. Toto velkorypadlo je určeno pro práci v nejtěžších těžebních podmínkách a to pro práci na pátém řezu dolu Bílina. Téma diplomové práce jsem si vybral hlavně z toho důvodu, že v okolí těchto strojů se pohybují značnou část svého života a také proto, že je to velice zajímavé téma, které mne seznámí s problematikou navrhování v praxi. Díky této skutečnosti se naskytla možnost spolupráce s firmou Siemens, která vyvíjí i mimo jiného řadu aplikací s pohony o malých, středních a velkých výkonech. Celá práce je rozdělena na čtyři hlavní části.

První část se zabývá nákresem a popisem elektrického a mechanického způsobu pohonu kola.

Druhá část se zabývá návrhem parametrů elektromotorů na základě požadovaného těžebního výkonu kola.

Ve třetí části je řešen návrh polovodičových měničů pro pohon kola. V této kapitole se počítají parametry usměrňovače i střídače s ohledem na derating.

Poslední, tedy čtvrtá část, je věnována možnosti připojení do elektrické soustavy s ohledem na EMC.

# 1 Velkorypadlo KK1300

Velkorypadlo KK1300 je největší průmyslový stroj určený pro těžbu uhlí v české republice. V roce 2011 ho nechala navrhnout a sestavit důlní společnost Severočeské doly, a.s. pro obnovu těžební technologie na Dole Bílina, konkrétně do nejtěžších těžebních podmínek na pátém řezu. Tento řez je uložen na nejhlubší části mostecké pánve, těžba v této pánvi je prováděna povrchovým způsobem. Povrchový způsob těžby je druh těžby, při kterém je nejdříve odstraněna horní vrstva půdy (tzv. skrývka), tato skývka bývá i několik desítek metrů půdy tlustá, a teprve pak je možné těžit samotné uhlí. Problematika této oblasti a vlastně i důvod konstrukce KK1300 je ten, že jižní část řezu obsahuje velice těžce těžitelné jíly. Tyto jíly mají velice vysokou hustotu (až  $2,2\text{t/m}^3$ ) a také vysokou pevnost. Místy mohou nabývat tloušťky až několik decimetrů, takto tlusté vrstvy lze vlastnostmi přirovnat ke skalním zeminám. Naopak severní část řezu se skládá z heterogenních systémů jílu, které jsou místy proloženy pískovci, to ve srozumitelném jazyce znamená, že je zde vyloučena těžba kontinuálním způsobem. Z těchto podmínek je jasné, že rypadlo určené do těchto podmínek musí splňovat zcela specifické požadavky. Na obrázku 1 je fotografie velkorypadla KK1300.

[1]



Obrázek 1: Velkorypadlo KK1300 [2]

## 1.1 Konstrukce rypadla KK1300

Rypadlo se skládá ze tří základních částí:

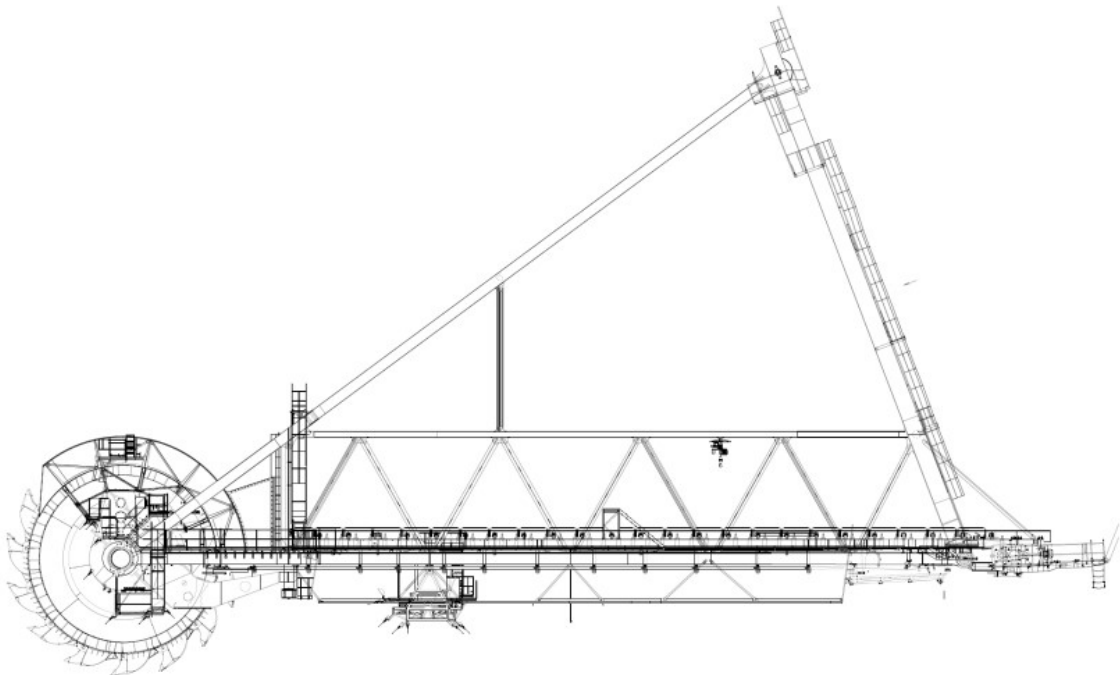
- Dobývací část
- Teleskopický spojovací most
- Podpěrný vůz

### 1.1.1 Dobývací část

Dobývací část, slouží k dobývání (těžbě) horniny, kterou je potřeba odstranit. Celá konstrukce stavby se skládá ze tří základních částí:

- **Kolesový výložník** slouží k samotné těžbě a dopravě těžného materiálu do drtiče, který se nachází ve spodní stavbě.
- **Vyvažovací výložník** slouží jako závaží pro dobývací část, také je zde umístěna rozvodna a strojovna a pohony vrátku.
- **Spodní stavba stroje** slouží k opěře stroje, otáčení a také je zde umístěna kabina pro posádku.

Na obrázku 2 je konstrukční schéma Kolesového výložníku.



Obrázek 2: Konstrukční schéma Kolesového výložníku [3]



Je to v podstatě rám, na který jsou přimontována potřebná zařízení. Níže jsou popsána pouze některá z umístěných zařízení.

- **Kolesová hřídel** je součástí kolesového výložníku. K dobývací části je připojena dvojicí ložisek. Samotné koleso s korečky, které slouží k těžbě, je uloženo na ose této hřídele. Toto uložení zajišťuje, že se přenáší pouze ohybové zatížení za rotace. Na ose je také uložen otěrový prstenec, který má za úkol čištění kola. Pohon kola, který je realizován převodovkou s dvěma motory, je také připojen k této hřídeli. Na obrázku 3 je fotografie kola s kabinou obsluhy.



Obrázek 3: Fotografie kola s kabinou obsluhy

- **Měnič** je umístěna ve vyvažovacím výložníku. Je k němu tlumeně zavěšena výkyvnými závěsy. Toto uchycení zajišťuje to, že kmity horní stavby neovlivňují chod zařízení jak v měničce, tak i ve strojovně. Na obrázku 4 je fotografie vyvažovacího výložníku.



Obrázek 4: Fotografie vyvažovacího výložníku

- **Vrátek** je zařízení, které zajišťuje zdvih kolesového výložníku. Je tvořen dvěma samostatnými jednotkami, které odpovídají zdvojenému zavěšení kolesového výložníku. Tato konstrukce umožňuje snadnou výměnu lan určených pro zdvih kolesového výložníku. Vrátek je umístěn v zadní části vyvažovacího výložníku. [4]

### 1.1.2 Spojovací most

Spojovací most slouží k přepravě vytěženého materiálu z dobývací části na podpěrný vůz a také jsou přes něj taženy napájecí kabely pro dobývací část. Na jedné straně je připevněn ke kruhové stavbě na spodku dobývací části a na druhé straně je připevněn k podpěrnému vozu. Část upevněná k podpěrnému vozu je teleskopická a umožňuje tak změnu vzdálenosti mezi dobývacím strojem a podpěrným vozem v rozsahu 63 m – 100 m. [4]



### 1.1.3 Podpěrný vůz

V podpěrném voze je umístěn nakládací výložník, který slouží k umístění vytěženého materiálu na dopravní pásy. Tento výložník je vysouvací s možnou nastavitelnou výškou. Dále je tam umístěna elektrorozvodna, místnost transformátorů a kabina hydrauliky. Na obrázku 5 je fotografie spojovacího mostu s podpěrným vozem. [4]



Obrázek 5: Fotografie spojovacího mostu s podpěrným vozem

V tabulce 1. jsou parametry velkorypadla KK1300 udané firmou PRODECO, a.s

Teoretická výkonnost	5500 m <sup>3</sup> *h <sup>-1</sup>
Výkon pohonu kola	2x1150 kW
Jmenovité otáčky kola	5,82 ot*sec <sup>-1</sup>
Jmenovitý objem korečku	1300 l
Počet korečků	15
Rozsah regulace otáček kola	50 % - 100 %
Výška řezu	30 m
Sklon bočního svahu	55 °
Hlubkový dosah od pojezdové pláňe	4 m
Šířka bloku při provozu v úrovni pásové dopravy	až 80 m
Rychlost pojezdu	2,5 – 10 m min <sup>-1</sup>
Nejmenší teoret. poloměr zatáčení rypadla	70 m
Převýšení pojezdových rovin hl. a podpěr. podvozku	±15 m
Celková hmotnost	4 977 000 kg

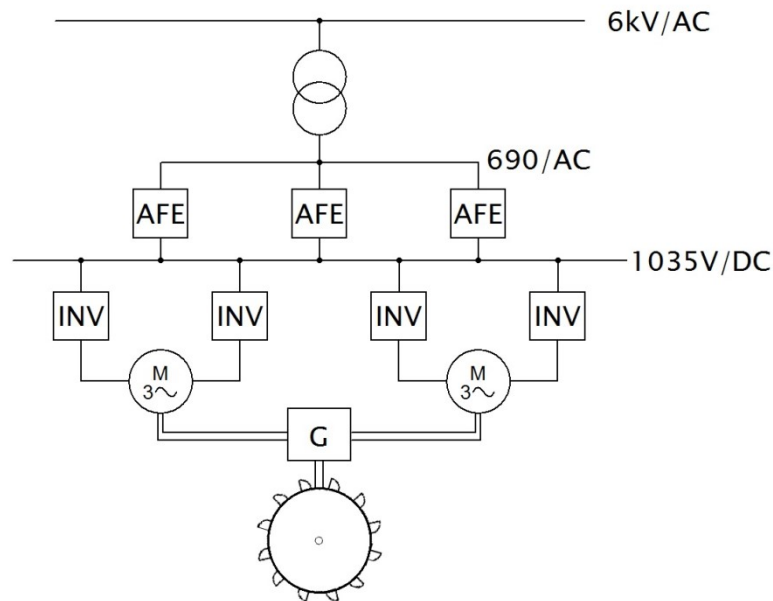
Tabulka 1: parametry Velkorypadla KK1300 [1]

## 1.2 Elektrický způsob pohonu kola

Celé velkorypadlo je napájeno napětím 35kV ze vzdálené rozvodny. Tato rozvodna může být od velkorypadla vzdálena i několik kilometrů. Propojení velkorypadla s rozvodnou je zajištěno kabelovým vozem. Kabelový vůz je v podstatě pouze podvozek, na kterém je upevněn buben. Na tomto bubnu je navinut napájecí kabel, který se odmotává s rostoucí vzdáleností velkorypadla od rozvodny. Kabelový vůz je propojen s transformátorem, tento transformátor je uložen v podpěrném voze a slouží k transformaci přiváděného napětí 35kV/AC na 6kV/AC. Těchto 6kV/AC je přes spojovací most přivedeno do měničny, která je ve vyvažovací části velkorypadla. V této měničně je přivedené napětí 6kV/AC dále transformováno na několik různých napětí, dle druhu napájené aplikace. Pro pohon kola je použito napětí 690V/AC. Z tohoto napětí je napájena soustava tří napěťových pulzních usměrňovačů v paralelním zapojení (ALM). Tyto usměrňovače na svém výstupu dávají stabilizované napětí 1035V/DC a toto napětí slouží k napájení měničů pro pohon kola, tzv. motor modulů. Pohon kola je realizován dvěma motory, které pracují do společné převodovky. Každý z těchto motorů je napájen ze dvou měničů (motor modulů). Na obrázku 6 je fotografie kabelového vozu, který je propojen s podpěrným vozem a dále na obrázku 7 je znázorněno schéma elektrických rozvodů pro pohon kola.



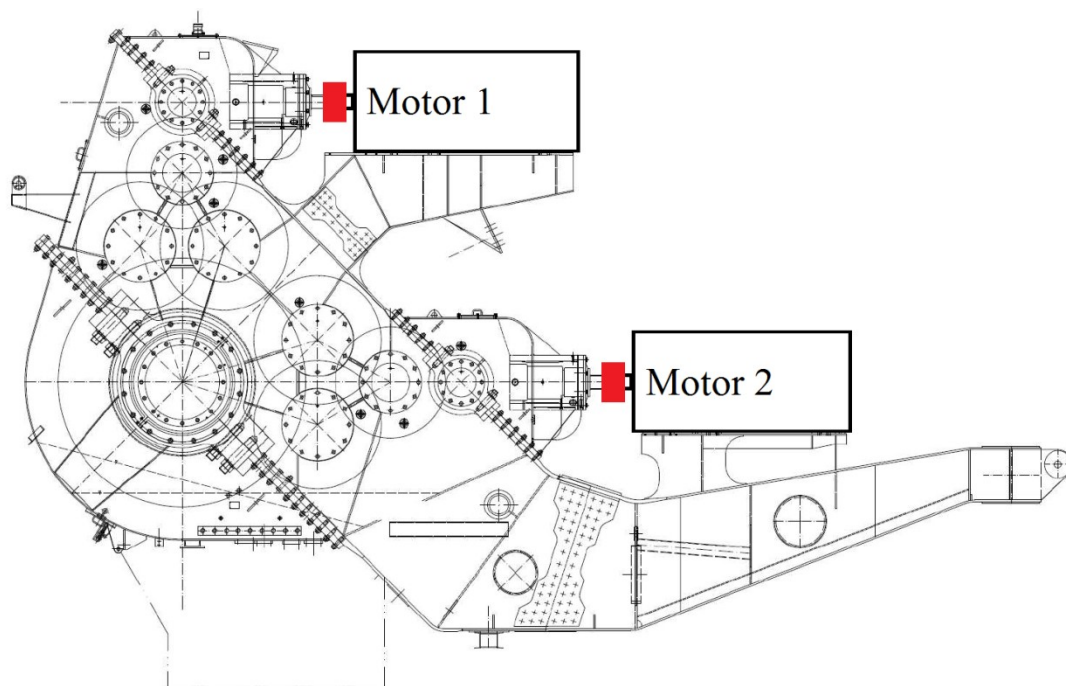
Obrázek 6: Fotografie kabelového vozu s podpěrným vozem



Obrázek 7: Schéma elektrických rozvodů pro pohon kola

### 1.3 Mechanický způsob pohonu kola

Mechanický způsob pohonu kola zajišťuje převodovka ABN-KK1300, ke které jsou připojeny motory. Převodovku dodala firma Vítkovice MKV, s.r.o.. Motory k převodovce jsou připevněny pomocí Omega spojky. Omega spojka je bezúdržbová, nemazací, pružná spojka s neopotřebovávanými díly. Díky pružnému členu z polyuretanu dovoluje úhlové, axiální a radiální vyosení hřídelů, což je pro tuto aplikaci velice podstatné. Převodovka je realizována s převodem do pomala, což umožňuje snížení otáček hnacích elektromotorů na požadovaný počet otáček hnaného stroje. Převodovka je vyrobena jako čtyřstupňová s dvěma vstupy, z nichž každý tvoří samostatnou větev. Každá samostatná větev se skládá z jednoho kuželového stupně (vstup převodovky) a třech čelních stupňů (převody) s děleným tokem výkonu na třetím stupni. Dva pastorky z každé větve třetího stupně pak pohánějí čtvrtý stupeň. Výstupní ozubené kolo je řešeno jako šroubované a je k rozetě připevněno lícovanými šrouby. Rozeta je svařena s dutým nábojem, který je na jednom konci přizpůsoben k šroubovému spojení s kolesem. Spodek převodovky slouží jako olejová nádrž. Pro provoz v nízkých teplotách jsou ve spodní části vyrobeny otvory pro topná tělesa. Převodovka je dodávána se základním převodem  $i=172,91$ , výměnou vstupního kuželového soukolí lze dosáhnout převodu  $i=213,36$ . Celková účinnost převodovky je 91 % a pro informaci hmotnost je 83 910 kg. Na obrázku 8 je zobrazeno vnitřní uspořádání převodovky s upevněnými motory a Omega spojkou. [4]



Obrázek 8: Převodovka s motory a Omega spojkou [4]



## 2 Návrh hodnot elektromotorů pohonu koleosa

Při určování potřebných parametrů motorů jsem vycházel z modifikovaného originálního zadání Severočeských dolů, a.s.

### 2.1 Zadání

Při výpočtu jsem vycházel z těchto parametrů:

- maximální přetížitelnost koleosa  $p_k = 2,4$ ,
- doporučené jmenovité otáčky koleosa  $n_k = 5,75$  ot/min
- jmenovitá obvodová síla koleosa  $F_{ojm} = 517$  kN
- doba nouzového zastavení koleosa  $t = 3$  s

Poloměr koleosa jsem zjistil z technického výkresu od firmy Noen, která KK1300 konstruovala. Originální zadání obsahovalo i druhou variantu, která počítala s pozměněnou konstrukcí převodovky a tím i s jiným převodem  $i = 216$ , ale tuto variantu jsem neuvažoval.

### 2.2 Výpočet výkonu pohonu koleosa

Jak je výše zmíněno, pohon koleosa je realizován dvěma regulovanými motory se společnou převodovkou, viz obrázek 7. Důvod, proč je pohon takto realizován je ten, že nejsou kladeny tak velké nároky na převody převodovky oproti verzi převodovky, která by byla hnána pouze jedním motorem. Místo jednoho vstupu máme vstupy dva. Z tohoto faktu je zřejmé, že výstupní požadovaný výkon se bude dělit na dva,

$$P = 2 * P_{1motor} \quad (2.1)$$

Ze vzorce pro obvodovou sílu  $F_{ojm}$  jsem si vyjádřil výkon jednoho motoru  $P_{1motor}$ , kde

$$F_{ojm} = \frac{P}{\omega} = \frac{2 * P_{1motor}}{\frac{\pi * D_k * n_k}{60}} * \eta_c \quad (2.2)$$

$$P_{1motor} = \frac{F_{ojm} * \pi * D_k * n_k}{60 * 2 * \eta_c} = \frac{517 000 * \pi * 13 * 5,75}{60 * 2 * 0,91} = 1111,8 \text{ kW} \quad (2.3)$$

Kde  $D_k$  - průměr kola [m]

$n_k$  – požadované otáčky kola [ot\*min<sup>-1</sup>]

$\eta_c$  – celková účinnost převodovky

### 2.3 Výpočet momentu

Výpočet momentu lze realizovat dvěma způsoby:

- 1. způsob stanoví moment na straně motoru, to znamená, že se v něm neuplatňuje vliv převodovky (účinnost a převodový poměr),
- 2. způsob je právě realizovaný na straně převodovky a vychází ze vzorečku, kde moment je síla působící na rameno. Je nutné zde počítat s účinností převodovky a také s převodovým poměrem  $i$ .

#### 1. způsob:

$$M_z = \frac{P_{1motor}}{\omega} = \frac{P_{1motor}}{\frac{2\pi * n_m}{60}} = \frac{30 * 1111,8 * 10^3}{\pi * 995} = 10670,26 Nm \quad (2.4)$$

Kde  $n_m$  – jmenovité otáčky motoru

#### 2. způsob:

$$M_z = \frac{F * r_k}{2 * \eta_c * i} = \frac{517\,000 * 6,5}{2 * 0,91 * 173} = 10673 Nm \quad (2.5)$$

Kde  $r_k$  - poloměr kola [m]

$\eta_c$  – celková účinnost kola

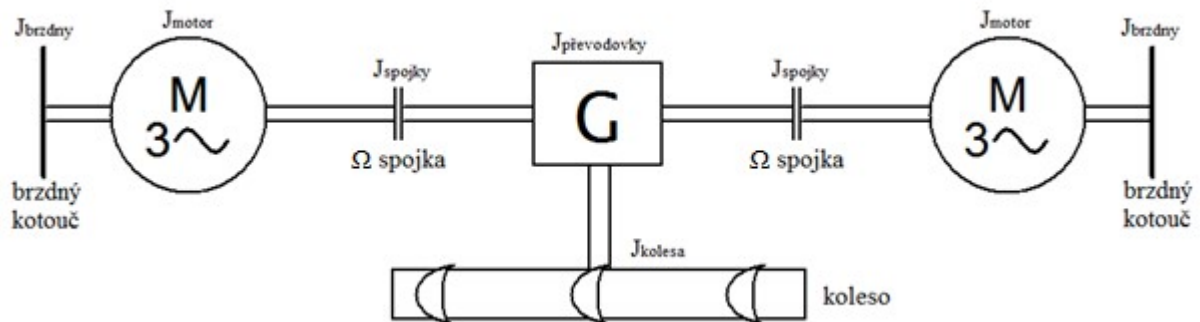
$i$  – převodový poměr převodovky =  $\frac{n_m}{n_k} = \frac{995}{5,75} = 173$

### 2.4 Výpočet dynamického momentu

Tento výpočet musí být provedený jako poslední. Ve výpočtu se počítá s jednotlivými momenty setrvačnosti a je nutné znát moment setrvačnosti motoru, ten zjistíme z katalogu pro daný motor. Hodnotu momentu setrvačnosti motoru jsem zvolil 92,4 kg\*m<sup>2</sup>. Celkový moment setrvačnosti přepočtený na hřídel motoru se vypočte jako součet jednotlivých dílčích momentů setrvačnosti (motor, převodovka, koleso, náboj, brzdový kotouč a Omega spojka). Moment setrvačnosti za převodovkou je nutné podělit kvadrátem převodového poměru



převodovky, tím tyto momenty přepočteme ze strany převodovky na stranu motoru. Na obrázku 9 jsou rozkresleny jednotlivé momenty setrvačnosti všech točivých těles. Výpočet celkového momentu setrvačnosti je uveden v níže popsaném vztahu 2.6.



Obrázek 9: Zobrazení jednotlivých momentů setrvačnosti

$$J = J_{brzdy} + J_{motor} + J_{spojky} + J_{naboje} + \frac{J_{převodovky} + J_{kolesa}}{i^2} \quad (2.6)$$

$$J = 6,4 + 92,4 + 5,4 + 9,5 + \frac{43,6 + 61,3}{173^2} = 113,7 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Jednotlivé momenty setrvačnosti jsem obdržel od firmy Vítkovice MKV s.r.o., kromě momentu setrvačnosti motoru, který jsem zjistil z katalogu motoru. Dále je třeba vypočítat úhlovou rychlost  $\omega_m$ . Vztah pro výpočet úhlové rychlosti je uveden ve vztahu 2.7.

$$\omega_m = \frac{2\pi * n_m}{60} = \frac{\pi * 995}{30} = 104,2 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (2.7)$$

Jak bylo v zadání zmíněno, doba za kterou se koleso musí nouzově zastavit  $t = 3\text{s}$ . Tato doba určuje, za jak dlouhou dobu se motory, které se točí úhlovou rychlostí  $\omega_m = 104,2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$  mají zastavit. Tato hodnota vynásobená momentem setrvačnosti nám udává dynamický moment. To je moment, který je nutno vykonat pro zastavení, nebo naopak rozběh kolesa. [4]

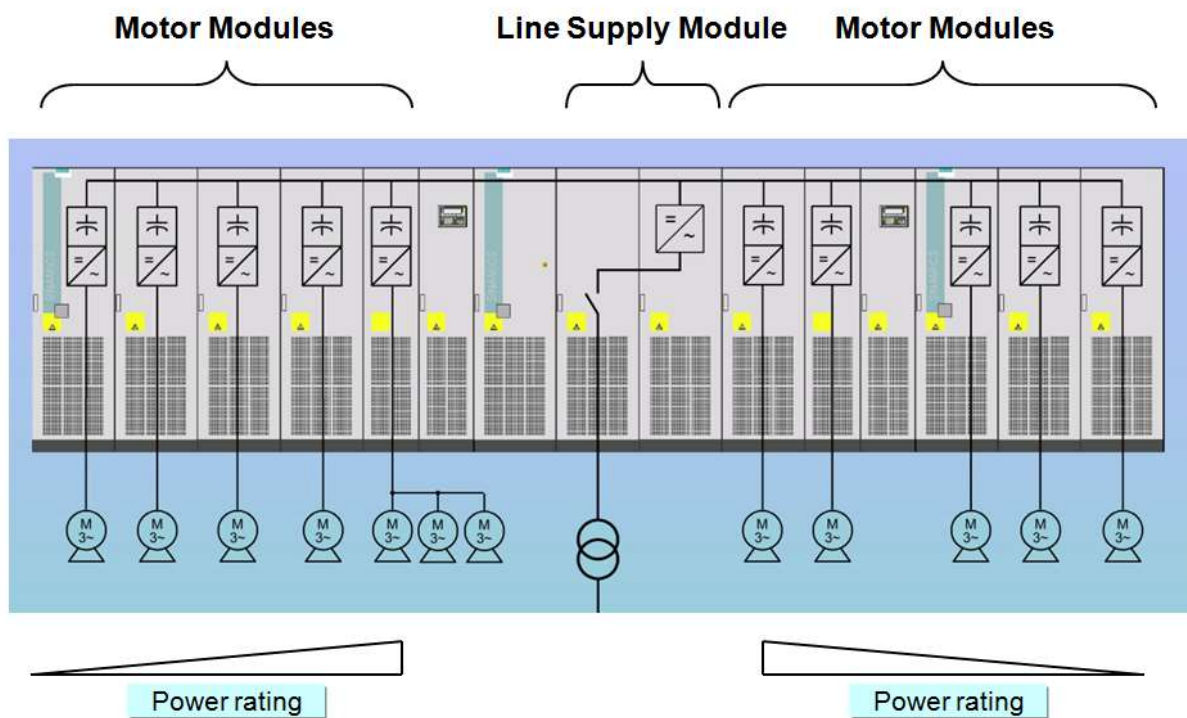
$$M_d = J * \frac{d\omega}{dt} = 113,7 * \frac{104,2}{3} = 3949 \text{ Nm} \quad (2.8)$$

## 2.5 Shrnutí parametrů motoru

Na základě vypočtených požadovaných parametrů motoru, tedy  $P_{1\text{motor}} = 1111,8 \text{ kW}$ ,  $M_z = 10670 \text{ Nm}$  a napájecího napětí pro motor 690V/AC, jsem vybral motor Siemens 1LA4502-6CM0, který vypočteným parametrům vyhovuje. Jedná se o asynchronní 6pólový motor, který je chlazený ventilátorem umístěným na hřídeli. Jeho jmenovitý výkon je  $P_n = 1200 \text{ kW}$ , jmenovitý moment  $M_n = 11516 \text{ Nm}$  a přetížitelnost až  $M_k/M_n = 2,65$ .

### 3 Návrh polovodičových měničů

Při návrhu polovodičových měničů se postupuje tak, že se nejdříve navrhne vhodný měnič (Motor Modul) a teprve potom se vypočtou parametry usměrňovače (Active Line Modul). Při výpočtu měniče se vychází z požadovaného proudu motoru, velikosti přetížení a deratingu. Jak jsem již výše zmínil, jeden motor je napájen ze dvou paralelních měničů. Tyto měniče jsou napájeny ze stejnosměrné části, na které je stabilizované napětí o velikosti 1035V. Stejnosměrná část je napájena z trojice pulzních usměrňovačů v paralelním zapojení. Všechny výkonové měniče jsou dodávány ve skříňovém provedení, tzv. cabinet formát. Tento formát si lze představit jako velkou skříň, do které jsou naskládány jednotlivé moduly. Skříň jsou osazeny výkonovými bloky napěťových střídačů na bázi IGBT, viz obrázek 11. Výhodou tohoto formátu je to, že je konstruován výrobcem a jeho funkce je jím garantována. Na obrázku 10 je naznačeno rozmístění uložení jednotlivých modulů. Na obrázku je také vidět, že výkonnější bloky jsou umístěny co možná nejbliže k napájecím modulům.

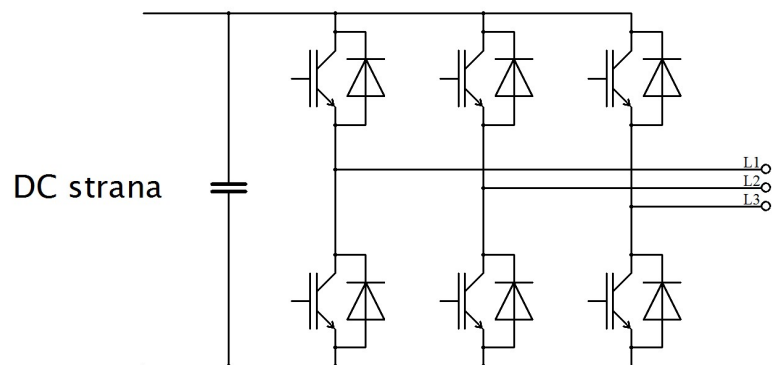


Obrázek 10: Znárodnění obecného uspořádání skříně řady S120 [5]

#### Funkce střídače

Střídač, také nazývaný jako motor modul, je výkonový prvek, který slouží k napájení motorů. Jako zdroj mu slouží stejnosměrný meziobvod. Střídač je možné provozovat čtyřkvadrantově, tzn. že umožňuje i rekuperaci. Jedná se o střídač napěťového typu, kde se spíná vždy pouze jeden prvek v dané fázi. V případě, že by sepnuly oba prvky ve stejné fázi,

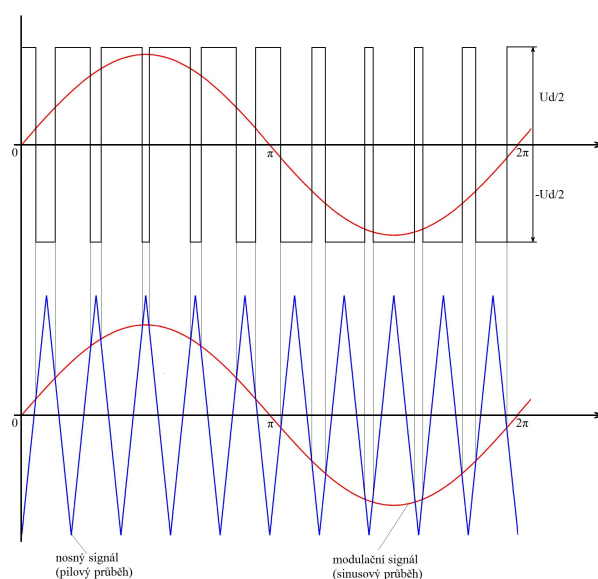
došlo by k vyzkratování kondenzátoru, který slouží jako zdroj pro střídače, což je nežádoucí. Na obrázku 11 je schéma napěťového pulzního střídače.[6]



Obrázek 11: Třífázový napěťový pulzní střídač s IGBT

### 3.1 Princip generování střídavého napětí

Střední hodnota výstupního napětí na střídači je generována pomocí PWM. Při tomto řízení je stejnosměrné napětí v jednotlivých fázích na vstupu střídače pomocí spínatelných součástek rozstřídáno. To, zda se má sepnout horní anebo naopak spodní součástka, určuje výstupní logika. PWM funguje na principu koincidence (porovnávání) námi požadovaného nosného signálu (většinou sinusového průběhu) s vysokofrekvenčním nosným pilovým signálem, tento signál může být buď asymetrický nebo symetrický. Při koincidenci signálů výstupní logika posílá řídicí pulzy na součástky (např. tranzistor). To, zda součástka při koincidenci sepne nebo rozepne, určuje řídicí algoritmus. Na obrázku 12 je zobrazen princip PWM. [6]



Obrázek 12: Princip PWM

### 3.2 Parametry ovlivňující výpočet střídače

Při výpočtu parametrů měniče se musí brát zřetel na tři parametry. První parametr je přetížitelnost. Ta nám udává, jak moc bude motor, respektive měnič přetěžován. Je vyjádřena jako poměr maximálního požadovaného momentu ku jmenovitému momentu motoru. Maximální požadovaný moment je moment, který je součtem zátěžného momentu v ustáleném stavu a dynamického momentu. Druhý velice důležitý parametr je tzv. derating, který slouží k omezení proudu v závislosti na několika faktorech. Třetí parametr je jmenovitý proud motoru. [7]

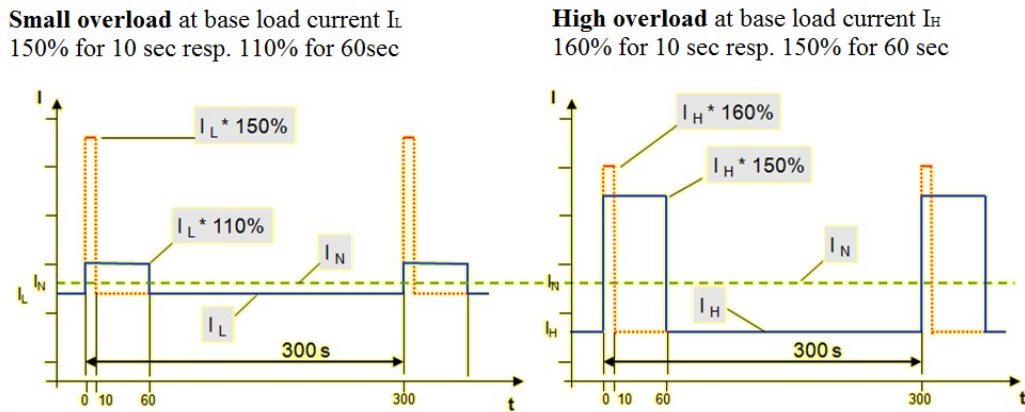
#### 3.2.1 Přetížitelnost

Měnič může být přetěžován proudem o dvou hodnotách. První přetížení je nižší přetížení, tzv. low overload (LO) a druhé přetížení je vyšší přetížení, tzv. high overload (HO).

Proud pro nižší přetížení je značen jako  $I_L$  a je přibližně o 3 % až 6 % nižší, než proud jmenovitý. Při požadavku na přetížení můžeme měnič přetěžovat buďto dlouhodobě a to proudem o hodnotě 110%  $I_L$ , ale maximálně po dobu 60 sekund anebo krátkodobě proudem o hodnotě 150%  $I_L$  a to na dobu maximálně 10 sekund.

Proud pro vyšší přetížení je značen jako  $I_H$  a je přibližně o 10 % až 25 % nižší, než proud jmenovitý. Při požadavku na přetížení můžeme měnič přetěžovat buďto dlouhodobě proudem o hodnotě 150%  $I_H$ , ale maximálně po dobu 60 sekund anebo krátkodobě proudem o hodnotě 160%  $I_H$  a to po dobu maximálně 10 sekund.

Po takto provedeném přetížení je nutné, aby měnič byl zatížen po určitou dobu proudem o velikosti 100 %  $I_L$  nebo  $I_H$  (dle zvoleného druhu přetížení). Tato doba se určí jako rozdíl doby, po kterou byl měnič přetěžován a doby 300 sekund. Během této doby se přetížené součástky ustálí. Na obrázku 13 je znázorněn průběh proudu při přetížení a doby potřebné k ustálení součástek po přetížení. [7]



Obrázek 13: Průběhy proudů při přetížení a doby potřebné k ustálení součástek [7]

$$\text{Přetížitelnost} = \frac{M_{\Sigma}}{M_{n_{motor}}} = \frac{M_z + M_d}{M_{n_{motor}}} = \frac{10670 + 3949}{11516} = 1,2696 \quad (3.1)$$

Kde  $M_{\Sigma}$  - celkový moment

$M_z$  - zátěžný moment

$M_d$  - dynamický moment

$M_{n_{motor}}$  - jmenovitý moment motoru

### 3.2.2 Derating

Proudový derating, značený také  $k_D$ , v sobě zahrnuje všechny vlivy, které vyžadují snížení proudu měniče. Celkový derating je závislý na jednotlivých dílčích vlivech. Vztah 3.2 vyjadřuje závislost celkového deratingu na dílčích částech.

$$k_D = k_{Temp} * k_{Pulse} * k_{Parallel} * k_{IGBT} \quad (3.2)$$

- $k_{Temp}$  - první parametr je teplota okolí. Teplota nám ovlivňuje parametry měniče. Pokud je měnič používán při teplotě okolí větší, než je udávaná pracovní teplota, je nutné tento derating zohlednit. Hodnoty tohoto deratingu jsou specifikovány pro každou jednotku zvlášť a je možné je dohledat v katalogu pro danou jednotku. Při mém výpočtu teplota prostředí nepřesahuje udanou mez, a proto mohu počítat s  $k_{Temp}=1$ .
- $k_{Pulse}$  - je druhý parametr. Tento parametr se zavádí pro případ, když je pulzní frekvence vyšší než frekvence, která je nastavena od výroby. Hodnoty tohoto deratingu jsou specifikovány pro každou jednotku zvlášť a je možné jej dohledat v katalogu pro danou jednotku. Pro moji aplikaci je použita pulzní frekvence  $f = 2$  kHz, a pro 2 kHz odpovídá derating  $k_{Pulse} = 92 \%$  nebo také 0,92.

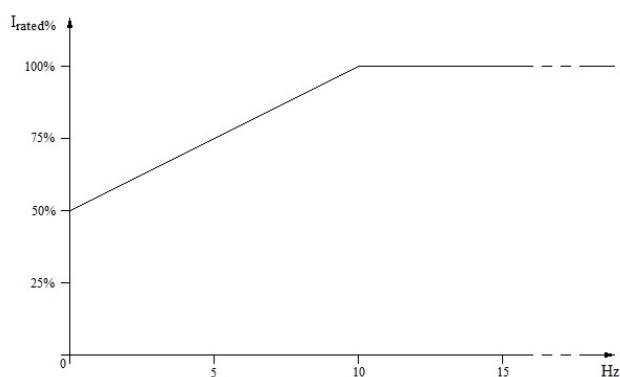
- $k_{Parallel}$  – je třetí parametr. Závisí na tom, jestli měnič pracuje samostatně anebo je k němu paralelně připojen druhý. Tento derating je pro všechna paralelní zapojení modulů S120. Tento derating je roven 1 v případě, že měnič pracuje samostatně. V případě, že pracují dva měniče paralelně, je nutné počítat  $k_{Parallel} = 95 \%$  nebo také 0,95. Tato hodnota se zavádí z důvodu rozdílných parametrů modulů.
- $k_{IGBT}$  – je čtvrtým a posledním parametrem. Tento derating je definován pro periodicky se opakující cykly zátěže z důvodu limitování hodnoty jmenovitého proudu IGBT. Zavádí se v případě, že měnič pracuje s frekvencí menší jak 10 Hz. Hodnoty tohoto deratingu jsou specifikovány pro každou jednotku zvlášť a je možné je dohledat v katalogu pro danou jednotku. V mém výpočtu jsem počítal s  $k_{IGBT} = 0,75$ . Tuto hodnotu jsem získal z pracovního režimu velkorypadla pro údržbu korečků. Při tomto pracovním režimu je frekvence měniče 7,5 Hz. Závislost jmenovitého proudu měniče na frekvenci je zobrazena na obrázku 14.

Celkový derating  $k_D$  tedy dostanu po vynásobení všech jednotlivých deratingů [7]

$$k_D = k_{Temp} * k_{Pulse} * k_{Parallel} * k_{IGBT} = 1 * 0,92 * 0,95 * 0,75 = 0,66.$$

### 3.2.3 Pomalu běžící aplikace

Aplikace, která se cyklicky opakuje s frekvencí větší jak 10 Hz, žádný problém nemá, protože součástky pracují s dostatečnou frekvencí. Problém nastává, když máme požadovanou frekvenci měniče rovnou, nebo nižší než 10 Hz. Je to dáno faktem, že takto nízké frekvence se dají přirovnat stejnosměrnému průběhu a to IGBT součástkám nevyhovuje. V takovém případě je nutné měnič napájet menším proudem a to až pro nejpomaleji běžící aplikace, kde hodnota proudu  $I_{rated}$  klesne na 50 %, na obrázku 14 je zobrazena závislost  $I_{rated}$  na frekvenci aplikace. Pro můj výpočet jsem použil pokles na 75 %  $I_{rated}$ [7]



Obrázek 14: Zobrazení závislosti  $I_{rated}$  na frekvenci aplikace [7]

### 3.3 Výpočet parametrů střídače

Co zatím víme:

- celkový moment  $M_{\Sigma} = 14670 \text{ Nm}$
- jmenovitý moment motoru  $M_{n\_motor} = 11516 \text{ Nm}$
- požadovaná přetížitelnost = 1,2696
- celkový derating  $k_D = 0,66$
- jmenovitý proud motoru  $I_{n\_motor} = 1220 \text{ A}$

V katalogovém listu je modul se jmenovitým proudem 1270 A. Tento proud je pro napájení motoru dostačující, ale po vynásobení této hodnoty deratingem je výsledný proud menší než požadovaný. Z tohoto důvodu jsem zvolil pro napájení motoru dva paralelně zapojené moduly s nižším výkonem o jmenovitém proudu 910 A. Vzhledem k tomu, že jsou zapojeny paralelně, je tedy  $I_{n\_menic} = 1820 \text{ A}$ . Proud  $I_{H\_menic}$ , tedy proud, který teče měničem při přetěžování, je pro daný modul  $I_{H\_menic} = 814 \text{ A}$ , respektive 1628 A pro sériové spojení dvou modulů.

Maximální proud, který můžeme dostat ze střídače je tedy:

$$I_{\max\_menic} = k_D * I_{n\_menic} = 0,66 * 1820 = 1201,2 \text{ A} \quad (3.3)$$

Tato hodnota je téměř totožná a moduly lze tedy použít pro napájení motoru.

Maximální proud motoru při přetížení je:

$$I_{pretez\_motor} = \frac{M_{\Sigma}}{M_{n\_motor}} * I_{n\_motor} = 1,2696 * 1220 = 1548,9 \text{ A} \quad (3.4)$$

Maximální proud měniče při přetížení je:

$$I_{pretez\_menic} = 1,5 * k_D * I_{H\_menic} = 1,5 * 0,66 * 1628 = 1611,7 \text{ A} \quad (3.5)$$

Kde 1,5 je hodnota vyjadřující přetížení 150% proudu  $I_H$ .

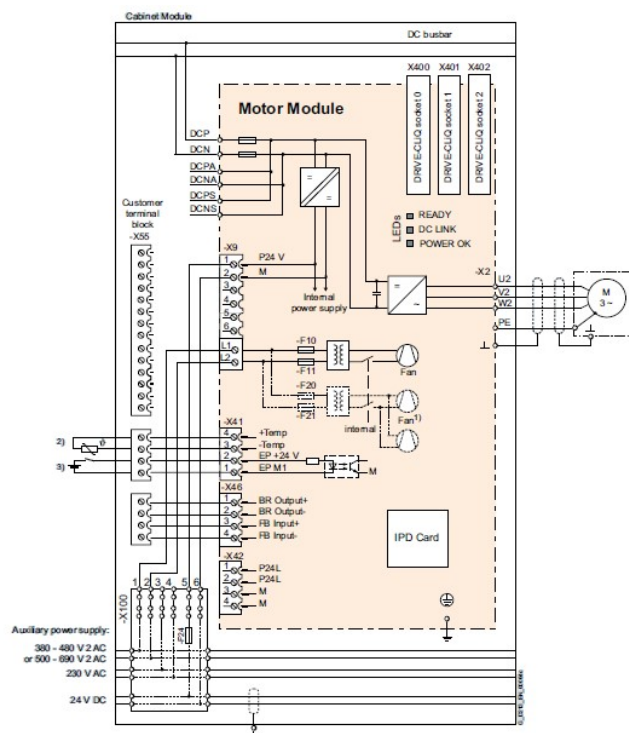
Z výpočtu 3.4 a 3.5 je patrné, že přetěžovací proud měniče  $I_{pretez\_menic}$  je plně dostačující pro přetížení motoru.



Označení měniče, s jehož hodnotami jsem počítal, je 6SL3720-1TG38-8AA3. Jak jsem již zmínil, jedná se o motor modul pro skříň SINAMICS S120 v Cabinetovém provedení. Na obrázku 15 je fotografie motorového modulu a na obrázku 16 je jeho vnitřní schéma. [7]



Obrázek 15: Motorový modul pro SINAMICS S120 [5]



1) The number and the terminals of the fans depend on the frame size.  
 2) Connection of temperature sensor for motors without DRIVE-CLIQ interface.  
 3) Required for Safety Integrated.

Obrázek 16: Vnitřní struktura motorového modulu [5]



### 3.4 Výpočet parametrů usměrňovače

Po vypočítání parametrů střídače je na řadě usměrňovač, tzv. Active Line Modul. Jedná se o napěťový pulzní usměrňovač. Pro napájení dvou motorů byly použity čtyři motorové moduly, pro každý motor dva. Motor moduly jsou napájeny ze stejnosměrné části tzv. DC sběrnice, na které je napětí o hodnotě 1035V. DC sběrnice je napájena pomocí tří paralelních napěťových pulzních usměrňovačů. Na obrázku 17 je fotografie vnitřku skříně S120 s DC sběrnici.



Obrázek 17: realizace DC sběrnice ve skříně S120 [8]

Nejprve je třeba určit velikost proudu  $I_d$ . Tímto proudem je dobíjen kondenzátor na vstupu střídače. Vzorec níže popsáný je odvozen ze zachování výkonu, tzn. že výkon, který je na výstupu střídače, musí být roven výkonu na vstupu střídače.

$$U_d * I_d = \frac{\sqrt{3} * U_n * I_n * \cos \varphi}{2 * \eta_{menic} * \eta_{motor}} \quad (3.6)$$

$$I_d = \frac{\sqrt{3} * U_n * I_n * \cos \varphi}{U_d * \eta_{menic} * \eta_{menic} * \eta_{motor}} = \frac{\sqrt{3} * 690 * 1201,2 * 0,9}{1035 * 0,98 * 0,98 * 0,972} = 1337,24 \text{ A}$$

Kde	$U_d$	-	napětí na DC sheane
	$U_n$	-	napětí střídače
	$I_n$	-	proud střídače
	$\cos \varphi$	-	účiník motoru
	$\eta_{menic}$	-	účinnost měniče
	$\eta_{motor}$	-	účinnost motoru

$I_d$  je tedy proud, který je přiváděn do střídače, tzn. že to je proud, který musí být usměrňovač schopný dát pro správnou funkci celé aplikace. Vzhledem k tomu, že napájíme dva motory, je nutné tento požadovaný proud vynásobit dvěma.

$$I_{\Sigma d} = 2 * I_d = 2 * 1337,24 = 2674,48 \text{ A} \quad (3.7)$$

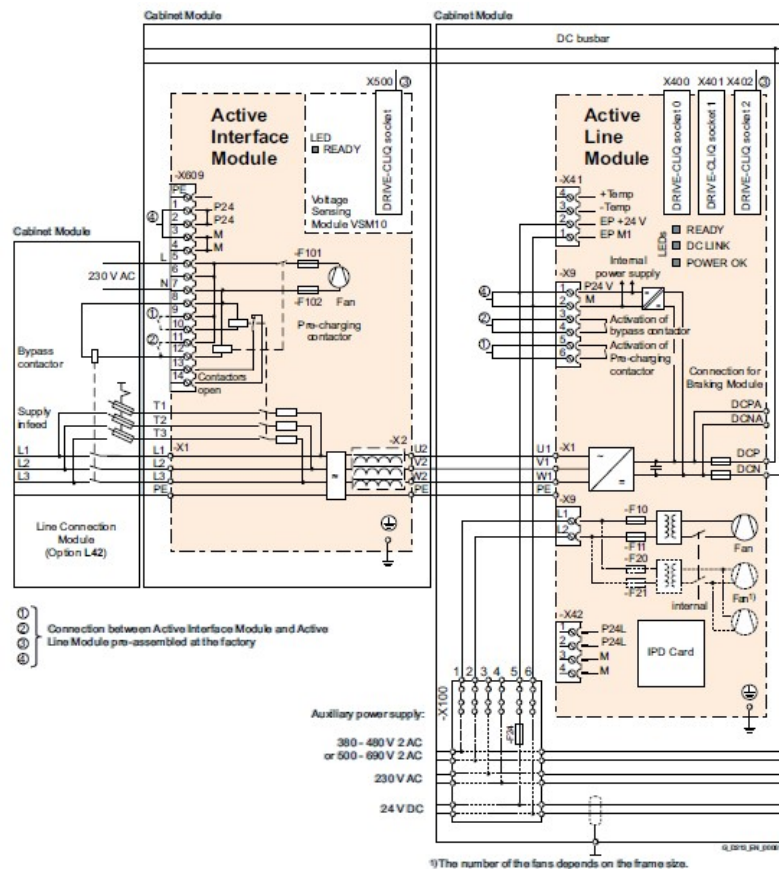
Pro tuto hodnotu proudu jsem se rozhodl použít tři napěťové pulzní usměrňovače zapojené paralelně. Původně jsem chtěl použít usměrňovač o jmenovité hodnotě napájecího proudu  $I_{N\_usm} = 735 \text{ A}$ , ale protože v sérii můžeme používat pouze čtyři usměrňovače, respektive jedna řídicí jednotka může ovládat maximálně čtyři, tak by celkový vstupní proud činil  $I_{\Sigma N\_usm} = 2940 \text{ A}$  a to je méně, než kolik je potřeba. Z tohoto důvodu jsem zvolil usměrňovač vyššího řádu, který je napájen proudem  $I_{N\_usm} = 1025 \text{ A}$  a tedy  $I_{\Sigma N\_usm} = 3075 \text{ A}$ , což vyhovuje požadovanému proudu  $I_{\Sigma d}$ . Tento napěťový pulzní usměrňovač má na svém stejnosměrném výstupu proud o velikosti  $I_{N\_dc} = 1148 \text{ A}$  a tedy součet proudů je roven hodnotě  $I_{\Sigma N\_dc} = 3444 \text{ A}$ . Z důvodu dimenzování na kolísání sítě budeme při výpočtu uvažovat 95 % celkového proudu a tedy  $I_{Ndc95\%}$ .

$$I_{Ndc95\%} = 0,95 * I_{\Sigma Ndc} = 0,95 * 3444 = 3271,8 \text{ A} \quad (3.8)$$

Když porovnáme maximální výstupní proud z pulzních usměrňovačů s požadovaným vstupním proudem střídačů je zřejmé, že nám tyto tři pulzní napěťové usměrňovače plně vyhovují ( $3271,8 \text{ A} > 2674,48 \text{ A}$ ). Usměrňovač, který vyhovuje podmínkám, je označen jako 6SL3730-7TG41-0BA3. Jedná se o Active Line Modul pro skříň SINAMICS S120 v Cabinetovém provedení. Na obrázku 18 je fotografie Active Line Modulu a na obrázku 19 je jeho vnitřní schéma. [5]



Obrázek 18: Active Line Module pro SINAMICS S120 [5]



Obrázek 19: Vnitřní struktura ALM [5]

Jako další krok je potřeba zjistit, jak je velký činný proud usměrňovače  $I_{N\check{c}}$ . Tento proud je potřeba pro činnost usměrňovače. Opět se vychází z toho, že výkony na vstupu a výstupu musejí být rovny. Při výpočtu je počítáno s  $\cos \varphi=1$

$$P_d = \sqrt{3} * U_N * I_N = U_d * I_d \quad (3.9)$$

$$I_{N\check{c}} = \frac{U_d * I_d}{\sqrt{3} * U_N} = \frac{1035 * 2674,48}{\sqrt{3} * 690} = 2316,17 \text{ A}$$

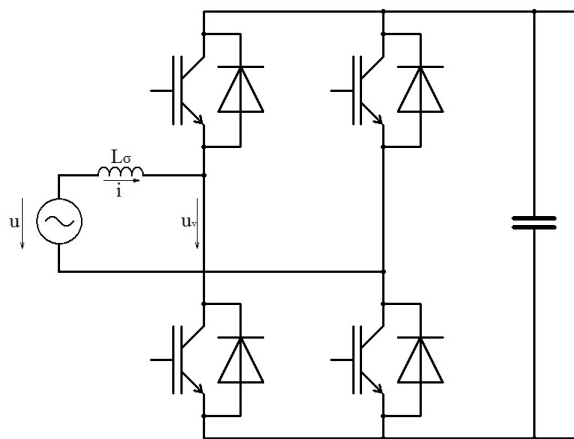
Dále je uveden příklad s poklesem napájecího napětí o 10%. Tento výpočet se dělá z důvodu toho, abychom si ověřili, zda je pulzní usměrňovač při poklesu napájení schopný dodat požadovaný proud  $I_{N\check{c}}$ .

$$I_{N\check{c}} = \frac{U_d * I_d}{\sqrt{3} * U_{N90\%}} = \frac{1035 * 2674,48}{\sqrt{3} * (690 * 0,9)} = 2573,52 \text{ A}$$

Při velkém poklesu napájecího napětí může být požadovaný proud větší než proud, který je pulzní usměrňovač dát. [7]

### 3.5 Možnost kompenzace jalového výkonu

Pulzní usměrňovač je napájen jmenovitým proudem  $3*1025=3075 \text{ A}$ , vzhledem k tomu, že jsou paralelně zapojeny, je nutné při výpočtu počítat s deratingem  $k_{\text{parallel}} = 0,95$ . To nám výsledný proud zmenší na hodnotu  $I_N = 0,95*3075 = 2921,25 \text{ A}$ . Vypočetl jsem si tedy, že činný proud je  $I_{N\check{c}} = 2316,17 \text{ A}$ . Ze zbylého proudu je realizovaná kompenzace jalového výkonu. ALM v podstatě umí natáčet výsledný vektor proudu v závislosti na velikosti požadované jalové složky, kterou bude kompenzovat. Na obrázku 20 je schéma jednofázového napět'ového pulzního usměrňovače. [7]



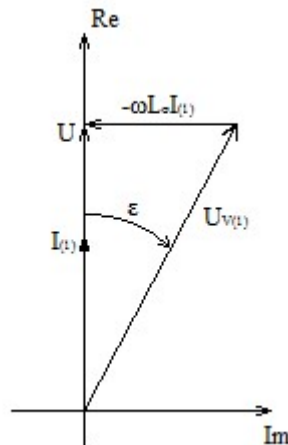
Obrázek 20: Schéma jednofázového napět'ového pulzního usměrňovače

Kde  $u$  – napětí zdroje

$L_{\sigma}$  – rozptylová indukčnost transformátoru

$u_v$  – napětí na ALM

Na obrázku 21 je fázorový diagram jednofázového napětového pulzního usměrňovače.



Obrázek 21: Fázorový diagram jednofázového napětového pulzního usměrňovače

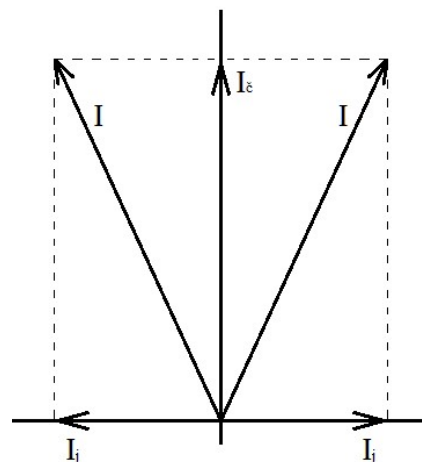
Kde  $U$  – fázor napětí zdroje

$I_{(1)}$  – fázor první harmonické proudu odebíraného ze zdroje

$U_{v(1)}$  – fázor první harmonické napětí na ALM

$\varepsilon$  – úhel natočení napětí na zátěži oproti napětí zdroje

Na obrázku 22 je zobrazen rozklad celkového proudu na činnou a jalovou složku. Tento výsledný proud může mít jak kapacitní charakter, tak i induktivní charakter.



Obrázek 22: Rozložení celkového proudu na činný a jalový

Maximální jalový výkon, který je usměrňovač schopný kompenzovat, je odvozen od maximálního jalového proudu  $I_{Nj}$ .

$$I_N = \sqrt{I_{Nc}^2 + I_{Nj}^2} \quad (3.10)$$

$$I_{Nj} = \sqrt{I_N^2 - I_{Nc}^2}$$

$$Q_{max} = \sqrt{3} * U_n * I_{Nj} \quad (3.11)$$

Například víme, že největší jalová složka, kterou budeme kompenzovat je  $Q = 1 \text{ MVar}$ . Tak je jasné, že když si výpočtem ověříme, zda je výsledný proud menší nebo roven vstupnímu proudu napěťového pulzního usměrňovače, je ALM schopný požadovanou jalovou složku kompenzovat.

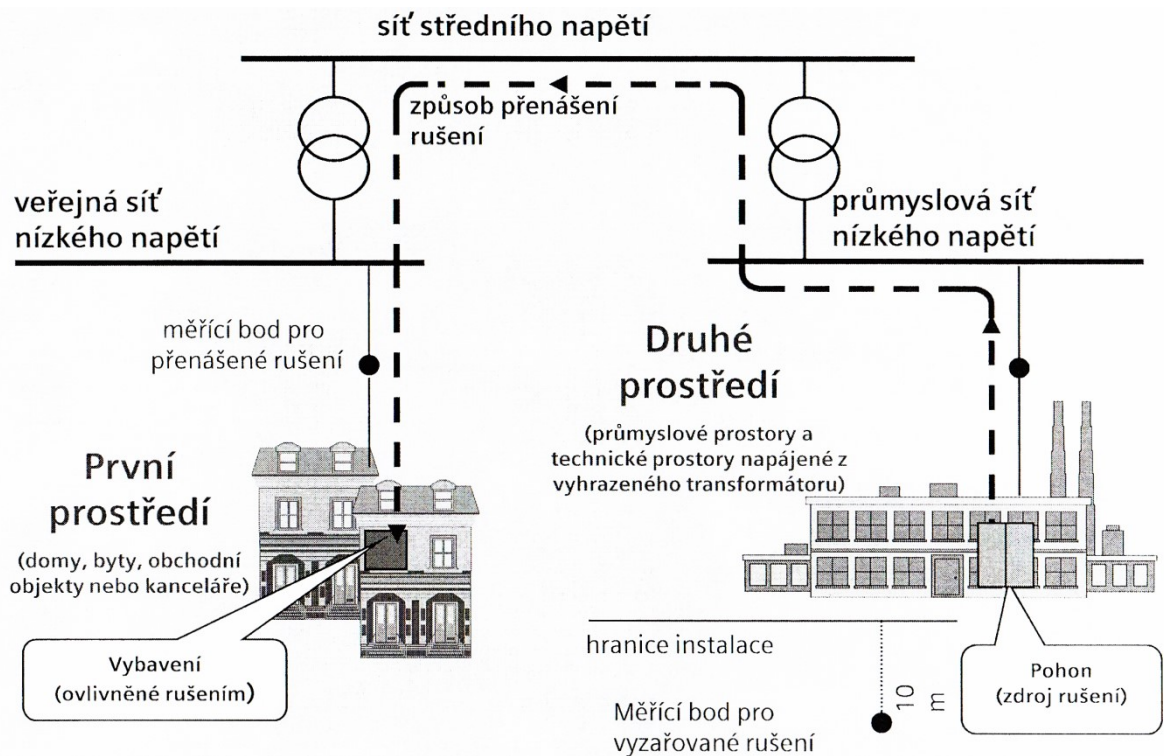
$$I_{1MVar} = \frac{Q_{1MVar}}{\sqrt{3} * 690} = \frac{1\ 000\ 000}{\sqrt{3} * 690} = 836,47 \text{ A}$$

$$I = \sqrt{2316,17^2 + 836,47^2} = 2462,58 \text{ A}$$

Po vypočtení celkového požadovaného proudu je jasné, že  $2921,25 \text{ A} > 2462,58 \text{ A}$  a tím i to, že měnič zvládne kompenzovat jalovou složku až do hodnoty  $Q = 1 \text{ MVar}$ . [7]

## 4 Problematika EMC

V současné době je velkým problémem narůstající počet elektrických zařízení, tento fakt má za následek vzrůstající počet provozních obtíží. Jako je například problém vzájemného ovlivňování elektrických zařízení. Tento efekt je způsoben elektromagnetickými vlastnostmi těchto zařízení. Na obrázku 23 je znázorněn princip šíření rušení z průmyslového prostředí do domácností.



Obrázek 23: Princip šíření rušení [8]

Obor, který je této problematice věnován, se nazývá elektromagnetická kompatibilita (EMC). Ta je definována jako schopnost zařízení nebo systému fungovat vyhovujícím způsobem ve svém elektromagnetickém prostředí bez vytváření nepřijatelného elektromagnetického rušení pro cokoli v tomto prostředí.

V praxi se setkáváme se signály, které jsou sice periodické, ale jejich průběh je velice neharmonický. Tento průběh lze pak vyjádřit jako nekonečnou řadu, která se skládá z jednotlivých prvků (harmonických). Takovému rozložení se říká harmonická analýza signálu a výsledná řada se nazývá Fourierova řada. [9]



#### 4.1 Vyjádření Fourierovy řady

Funkce, kterou budeme rozkládat na Fourierovu řadu, musí splňovat tyto podmínky. Musí být periodická alespoň po částech a také musí splňovat Dirichletovy podmínky, tzn. že funkce v intervalu  $\langle 0, T \rangle$  je jednoznačná, konečná a po částech spojitá. Všeobecně známý vztah pro Fourierovu řadu je pak vyjádřena ve vztahu 4.1.

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{h=1}^{\infty} [a_h \cos(h\omega_1 t) + b_h \sin(h\omega_1 t)] \quad (4.1)$$

V praxi je častým případem to, že je funkce tzv. lichá, což znamená, že Fourierova řada obsahuje pouze sinové členy. Lichá funkce je charakteristická tím, že má průběh středově souměrný. Další častá varianta je ta, že funkce obsahuje pouze cosinové členy, taková to funkce se nazývá sudá. Sudá funkce je charakterizována tím, že je souměrná podle osy Y. Dalším v praxi použitým průběhem je tzv. antiperiodická funkce. Tato funkce je charakterizována tím, že tvar funkce se periodicky mění vzhledem k poloze osy. Fourierova řada této funkce pak obsahuje pouze cosinové a sinusové členy, které obsahují pouze liché indexy h. Častá kombinace je použití liché a antiperiodické funkce. Tato kombinace má za následek to, že Fourierova řada obsahuje pouze liché členy s funkcí sinus.

Pokud máme průmyslovou aplikaci, která odebírá velký proud a napětí ze sítě, což u uhelná šachta je, je nutné, aby průběhy těchto odebíraných veličin byly co možná nejvíce podobné průběhu sítě. Pokud tvar odebíraného průběhu není stejný, nebo alespoň v definované mezi, tak je průmyslový závod pokutován velice vysokými sankcemi.

Celkové harmonické zkreslení (THD) je veličina, která definuje poměr celkového zastoupení vyšších harmonických složek signálu k základní harmonické. Čím nižší THD je, tím je odebíraný signál věrnější signálu sítě. Pokud je THD vysoké, může to ovlivňovat chod zařízení a také ekonomickou náročnost. [10]

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^H \left(\frac{X_h}{X_1}\right)^2} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^H X_h^2}}{X_1} \quad (4.2)$$

#### 4.2 Dělení EMC

EMC se skládá z velkého množství druhů rušení. Ve své práci se budu věnovat pouze dělení podle kmitočtové oblasti, konkrétně pro EMC v nízkofrekvenčních oblastech. Toto dělení rozděluje EMC na nízkofrekvenční rušení a vysokofrekvenční rušení.

**Nízkofrekvenční rušení** - toto rušení je následkem většinou změny kvality síťového napájení. Kvalita sítě je definována normou ČSN EN 50160. Tato norma definuje jeho kmitočet, velikost, tvar sinusovky a také souměrnost trojfázové soustavy. Přenáší se obvykle vedením a je způsobeno například připojením nelineární zátěže nebo poruchou v napájecí soustavě (přepětí, podpětí, kolísání frekvence, atd.). Norma ČSN EN 61000-2-2 blíže specifikuje rušení šířící se po vedení. Rozsah nízkofrekvenčního rušení je od 0 Hz až do 10kHz (lze rozšířit až do 148,5kHz).

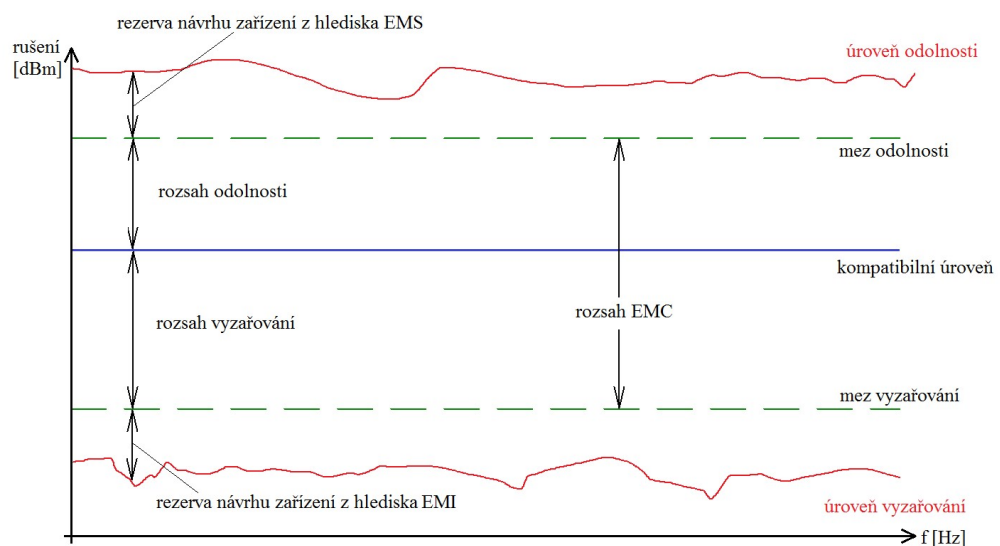
**Vysokofrekvenční rušení** - do tohoto rušení spadá většina rušivých zdrojů. Rozsah má od 10kHz až do 400GHz. V oblastech od 10kHz do 150kHz je rušení většinou vytvářeno polovodičovými měniči a spínanými zdroji. Podrobně jej pro tuto oblast popisuje norma ČSN IEC1000-2-3. [10]

### 4.3 Normy

Níže popsané normy popisují maximální povolené hodnoty rušení v rozsahu do 10kHz. [9][10]

#### 4.3.1 ČSN IEC 1000-2-1

Tato norma určuje meze rušení, které se šíří po vedení. Na obrázku 24 jsou zobrazeny meze.



Obrázek 24: Rozložení jednotlivých mezí [10]

- **Úroveň vyzařování** je úroveň vyzařovaného elektromagnetického rušení určitým přístrojem. Tato hodnota musí být měřena předepsaným způsobem.

- **Mez vyzařování** je předepsaná maximální úroveň vyzařování elektromagnetického rušení.
- **Úroveň odolnosti** je naopak maximální úroveň rušení, které může působit na dané zařízení a přitom je stále zachována požadovaná kvalita provozu.
- **Mez odolnosti** je nejnižší normou předepsaná úroveň odolnosti zařízení.
- **Kompatibilní úroveň** je definována jako maximální předepsané úrovně celkového rušení, o němž se předpokládá, že bude ovlivňovat přístroje. [9][10]

#### 4.3.2 ČSN EN 61000-2-2

Tato evropská norma se zabývá rušením, které se šíří po vedení v kmitočtovém rozsahu od 0Hz až do 9kHz. Definuje kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení veřejné střídavé sítě pro nízké napětí a to do 420V pro jednofázové anebo 690V pro trojfázové se jmenovitým kmitočtem 50Hz nebo 60Hz. Kompatibilní úrovně definované v této normě platí pro bod PCC - společný napájecí bod. Limity pro jednotlivé proudové harmonické nejsou v této normě definovány. Jsou pouze definovány limity pro napěťové harmonické a celkové harmonické zkreslení  $THD_{(U)} = 8\%$ . Limity této normy pro bod PCC s napájením z veřejné sítě jsou stejné jako limity pro druhou třídu dle normy EN 61000-2-4. [9][10]

#### 4.3.3 ČSN EN 61000-2-4

V této evropské normě jsou definovány kompatibilní úrovně v číslech pro nízkofrekvenční rušení šířené po vedení v průmyslových závodech a neveřejných sítích se jmenovitým napětím do 35kV a jmenovitou frekvencí 50Hz nebo 60Hz. Norma definuje místa, kde se napětí posuzuje.

- **PCC** – point of common coupling, místo připojení průmyslového závodu k veřejné síti.
- **IPC** – in-plant point of coupling, napájecí bod uvnitř měřeného průmyslového závodu.

Norma také určuje tři základní třídy dle velikosti kompatibilní úrovně:

- **Třída 1:** Tato třída platí pro ochranu zdroje a její kompatibilní úrovně jsou nižší, než úrovně veřejných sítí. Tato norma je určena pro zařízení, která jsou velice citlivá na poruchy napájení (vybavení laboratoří, automatizační zařízení, ochranná zařízení, atd.).
- **Třída 2:** Tato třída obecně platí pro PCC a IPC s průmyslovým nebo jiným soukromým zdrojem. Kompatibilní úrovně této třídy jsou stejné jako úrovně pro veřejné sítě. Vztahuje se na zařízení, která jsou určena pro veřejné sítě, ale mohou být použity i v průmyslových sítích.
- **Třída 3:** Tato třída je určena pouze pro IPC v průmyslovém prostředí. Má vyšší kompatibilní úrovně pro některá rušení než třída druhá. Tato třída by měla být brána v úvahu, pokud nastane některá z následujících podmínek.
  - hlavní část zátěže je napájena z měniče
  - jsou použity svařovací stroje
  - časté rozbíhání velkých motorů
  - rychle se měnící zátěž

V tabulce 3 jsou kompatibilní úrovně pro veřejné sítě. [9][10]

<i>Liché, mimo násobků 3</i>			
	<i>Třída 1</i>	<i>Třída 2</i>	<i>Třída 3</i>
<i>Řád harm.</i>	$U_N[\%]$	$U_N[\%]$	$U_N[\%]$
5	3	6	8
7	3	5	7
11	3	3,5	5
13	3	3	4,5
17	2	2	4
<i>Pro <math>h \in \langle 17, 49 \rangle</math></i>	$2,27 \cdot (17/h) - 0,27$	$2,27 \cdot (17/h) - 0,27$	$4,5 \cdot (17/h) - 0,5$

<i>Liché, mimo násobků 3</i>			
	<i>Třída 1</i>	<i>Třída 2</i>	<i>Třída 3</i>
<i>Řád harm.</i>	$U_N[\%]$	$U_N[\%]$	$U_N[\%]$
3	3	5	6
9	1,5	1,5	2,5
15	0,3	0,3	2
21	0,2	0,2	1,75
>21	0,2	0,2	1

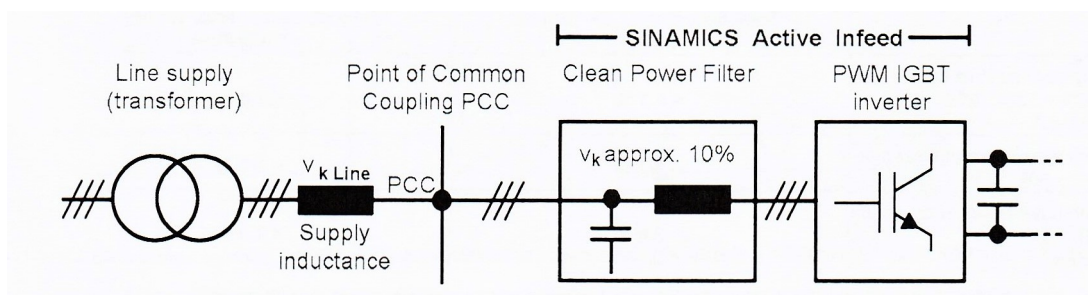
Tabulka 3: Kompatibilní úrovně pro rušení ve veřejných sítích nízkého napětí

<i>Liché, mimo násobků 3</i>			
	<i>Třída 1</i>	<i>Třída 2</i>	<i>Třída 3</i>
<i>Řád harm.</i>	$U_N[\%]$	$U_N[\%]$	$U_N[\%]$
2	2	2	3
4	1	1	1,5
6	0,5	0,5	1
8	0,5	0,5	1
10	0,5	0,5	1
12	0,2	0,2	1
>12	0,2	0,2	1

Tabulka 3: Kompatibilní úrovně pro rušení ve veřejných sítích nízkého napětí [9][10]

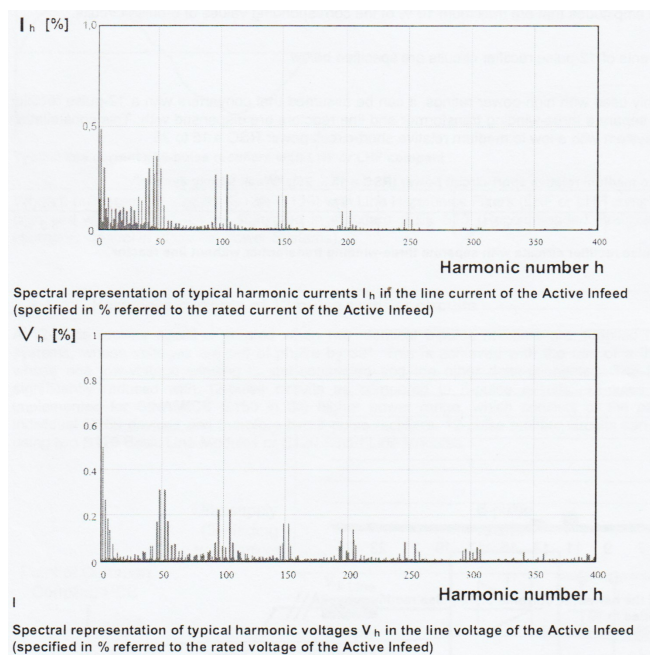
#### 4.4 Omezení rušení

Na kvalitu síťového napájení má vliv zatížení napájecí sítě neharmonickým proudem obsahujícím vyšší harmonické síťového kmitočtu. Toto zatížení je způsobeno nelineárními prvky (tyristory a diody) v usměrňovacích obvodech měničů. Použitý usměrňovač, tedy S120 Active Line Modul, je usměrňovač s vlastní komutací a IGBT prvky spínanými pomocí PWM. Tento usměrňovač je schopný dát konstantní stejnosměrné napětí na výstupu. Mezi usměrňovač a napájecí síť je vložen Clean Power Filter, který je součástí SINAMICS Active Infeed modulu. Díky tomuto filtru je odebíraný výkon ze sítě téměř perfektně sinusový. Toho je docíleno kombinací Clean Power Filtru a napěťového pulzního usměrňovače. Toto provedení je nejvyšší třída, kterou firma Siemens poskytuje. Na obrázku 25 je struktura S120 Active Line modulu.[11]



Obrázek 25: Struktura S120 Active Line modulu [11]

Na obrázku 26 je zobrazen celkový obsah harmonických proudů a napětí (THD) S120 Active Line modulu. Toho jsme docílili rozložením na jednotlivé prvky použitím Fourierovi transformace. Tyto průběhy jsem získal z firemní dokumentace firmy Siemens.



Obrázek 26: Zobrazení jednotlivých harmonických proudů a napětí [11]

V tabulce 4 jsou uvedeny jednotlivé hodnoty  $THD_i$  a  $THD_u$  pro ALM jednotku S120 firmy Siemens. Tabulka je rozdělena do tří skupin dle tvrdosti sítě. Tabulku jsem získal z firemní dokumentace Siemens pro ALM Sinamics S120. RSC je poměr mezi zkratovým výkonem napájecí sítě ku výkonu usměrňovače. Pro uhelnou šachtu platí, že  $RSC \gg 50$ .

- První stav je pro tvrdou napájecí síť. V tomto stavu je zkratový výkon zdroje mnohem větší než výkon, který je potřebný pro danou aplikaci. To si lze představit např. jako potřebu napájet měnič o výkonu  $\ll 100$  kVA ze zdroje o výkonu několika MVA.
- Druhý stav je pro středně tvrdou síť a platí, že zkratový výkon zdroje je dvakrát až třikrát větší než výkon, který je potřebný pro danou aplikaci. Tedy zkratový výkon zdroje je z 30 % - 50 % použit na napájení aplikace.
- Třetí stav je pro měkkou síť a platí, že veškerý zkratový výkon zdroje je odebíraný danou aplikací. [11]

	Total distortion factor current THD(I)	Total distortion factor voltage THD(V)
Supply system with high relative short-circuit power (RSC $\gg 50$ ) – Strong supply system	< 4.1%	< 1.8%
Supply system with average relative short-circuit power (RSC = 50)	< 3.0%	< 2.1%
Supply system with low relative short-circuit power (RSC = 15) – Weak supply system	< 2.6%	< 2.3%

Tabulka 4: Hodnoty THD pro různé tvrdosti zdroje [11]

## Závěr

Problematika návrhu pohonu kola a jeho topologie je komplexní záležitost, která v sobě skloubí několik oblastí ze sféry teoretických a praktických zkušeností. Během realizace diplomové práce jsem se setkal s velkým množstvím odborníků z praxe, ať už se zaměstnanci firmy Blumenbecker, kteří měli na starosti nastavování měničů nebo s elektrikáři Severočeských dolů, a.s.

První kapitolu jsem věnoval velkorypadlu KK1300, jeho konstrukci, důvodu jeho realizace a umístění velkorypadla. Také jsem popsal mechanický a elektrický způsob pohonu kola. Ve druhé kapitole se věnuji návrhu parametrů motorů pro pohon kola. Při výpočtu jsem vycházel z modifikovaného originálního zadání. Třetí kapitola je věnována návrhu polovodičových měničů pro napájení motoru. Jsou v ní rozepsány vlivy, které ovlivňují výběr jednotlivých modulů. Ve čtvrté kapitole je rozepsána problematika EMC, normy, které musí uhelná šachta splňovat a také vliv AFE jednotky na THD V normě je definována maximální dovolená hodnota  $THD_{(u)} = 8 \%$ . ALM má katalogovou hodnu  $THD_{(u)} < 1,8 \%$ .

Společnost Siemens se svojí modelovou řadou Sinamics S120 zaručuje spolehlivý a léty ověřený standart na poli výkonových měničů. Tato řada v současné době reprezentuje nejlepší kvalitu, kterou společnost Siemens může na tomto poli nabídnout.



## Seznam obrázků

1	Velkorypadlo KK1300 [1]	10
2	Konstrukční schéma kolesového výložníku [3]	11
3	Fotografie kola s kabinou obsluhy	12
4	Fotografie vyvažovacího výložníku	13
5	Fotografie spojovacího mostu s podpěrným vozem	14
6	Fotografie kabelového vozu s podpěrným vozem	15
7	Schéma elektrických rozvodů pro pohon kola	16
8	Převodovka s motory a Omega spojkou [4]	17
9	Zobrazení jednotlivých momentů setrvačnosti	20
10	Zobrazení obecného uspořádání skříně řady S120 [5]	21
11	Trojfázový napěťový pulzní střídač s IGBT	22
12	Princip PWM	22
13	Průběhy proudů při přetížení a doby potřebné k ustálení součástí [7]	24
14	Zobrazení závislosti $I_{rated}$ na frekvenci aplikace [7]	25
15	Motorový modul pro SINAMICS S120 [5]	27
16	Vnitřní struktura motorového modulu [5]	27
17	Realizace DC sběrnice ve skříně S120 [8]	28
18	Active Line Modul pro SINAMICS S120 [5]	30
19	Vnitřní struktura ALM [5]	30
20	Schéma jednofázového napěťového pulzního měniče	31
21	Fázorový diagram jednofázového napěťového pulzního měniče	32
22	Rozložení celkového proudu na činný a jalový	32
23	Princip šíření rušení [8]	34
24	Rozložení jednotlivých mezí [10]	36
25	Struktura S120 Active Line modulu [11]	39
26	Zobrazení jednotlivých harmonických proudů a napětí [11]	40

## Seznam tabulek

1	Parametry velkorypadla KK1300 [1]	14
2	Kompatibilní úrovně pro rušení ve veřejných sítích nízkého napětí [9][10]	38
3	Hodnoty THD pro různé druhy tvrdosti zdroje [11]	40

## Seznam příloh

A	povolení použití fotografií v diplomové práci	1
B	technický výkres převodovky s motory a Omega spojkami	2
C	technický výkres kola	3
D	technický výkres dobývací části	4
E	katalogové hodnoty Active Line Modulu	5
F	katalogové hodnoty Motor Modulu	6
G	katalogové hodnoty motoru	7

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] BARTOŠ, Karel. PRODECO. Přednáška pro konferenci „Hornická Příbram“ o KK1300. 2011.
- [2] *Bagry.cz* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: [http://bagry.cz/var/ezwebin\\_site/storage/images/clanky/recenze/nove\\_ceske\\_kolesove\\_rypadlo\\_prodeco\\_kk1300\\_se\\_zakousne\\_do\\_skryvky\\_v\\_dolech\\_bilina/kolesove\\_rypadlo\\_prodeco\\_kk13002/997937-1-cze-CZ/kolesove\\_rypadlo\\_prodeco\\_kk1300.jpg](http://bagry.cz/var/ezwebin_site/storage/images/clanky/recenze/nove_ceske_kolesove_rypadlo_prodeco_kk1300_se_zakousne_do_skryvky_v_dolech_bilina/kolesove_rypadlo_prodeco_kk13002/997937-1-cze-CZ/kolesove_rypadlo_prodeco_kk1300.jpg)
- [3] NOEN, Technické výkresy jednotlivých částí velkorypadla KK1300. 2010.
- [4] VÍTKOVICE, Technické dodací předpisy: Převodovka pohonu kola velkorypadla KK1300. 2010.
- [5] SIEMENS, katalog SINAMICS S120 Chassis Format Units and Cabinet Modules D21.3. 2011.
- [6] VONDRÁŠEK, František. *Výkonová elektronika*. 3., rozš. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2012. ISBN 978-80-261-0143-7.
- [7] SIEMENS, Výňatek z interní dokumentace firmy SIEMENS. 2011.
- [8] SIEMENS, Prezentace o Cabinet modulech SINAMICS S120. 2005
- [9] SIEMENS, Výňatek z interní dokumentace firmy SIEMENS. 2015.
- [10] KŮS, Václav, Jiří SKÁLA a Jiří HAMMERBAUER. *Elektromagnetická kompatibilita výkonových elektronických systémů*. Praha: BEN - technická literatura, 2013. ISBN 978-80-7300-476-7.
- [11] SIEMENS, interní prezentace o hardwaru ve skříních SINAMICSS120. 2016

## Přílohy

### Příloha A: povolení použití fotografií KK1300

Souhlasím s použitím fotografií kolesového rypadla typu KK 1300 pořízených v provozu Dolů Bílina studentem Pavlem Adlerem pro účely diplomové práce s tématem Návrh polovodičových měničů pro pohon kolesového rypadla.



Ing. Kraus Vlastimil

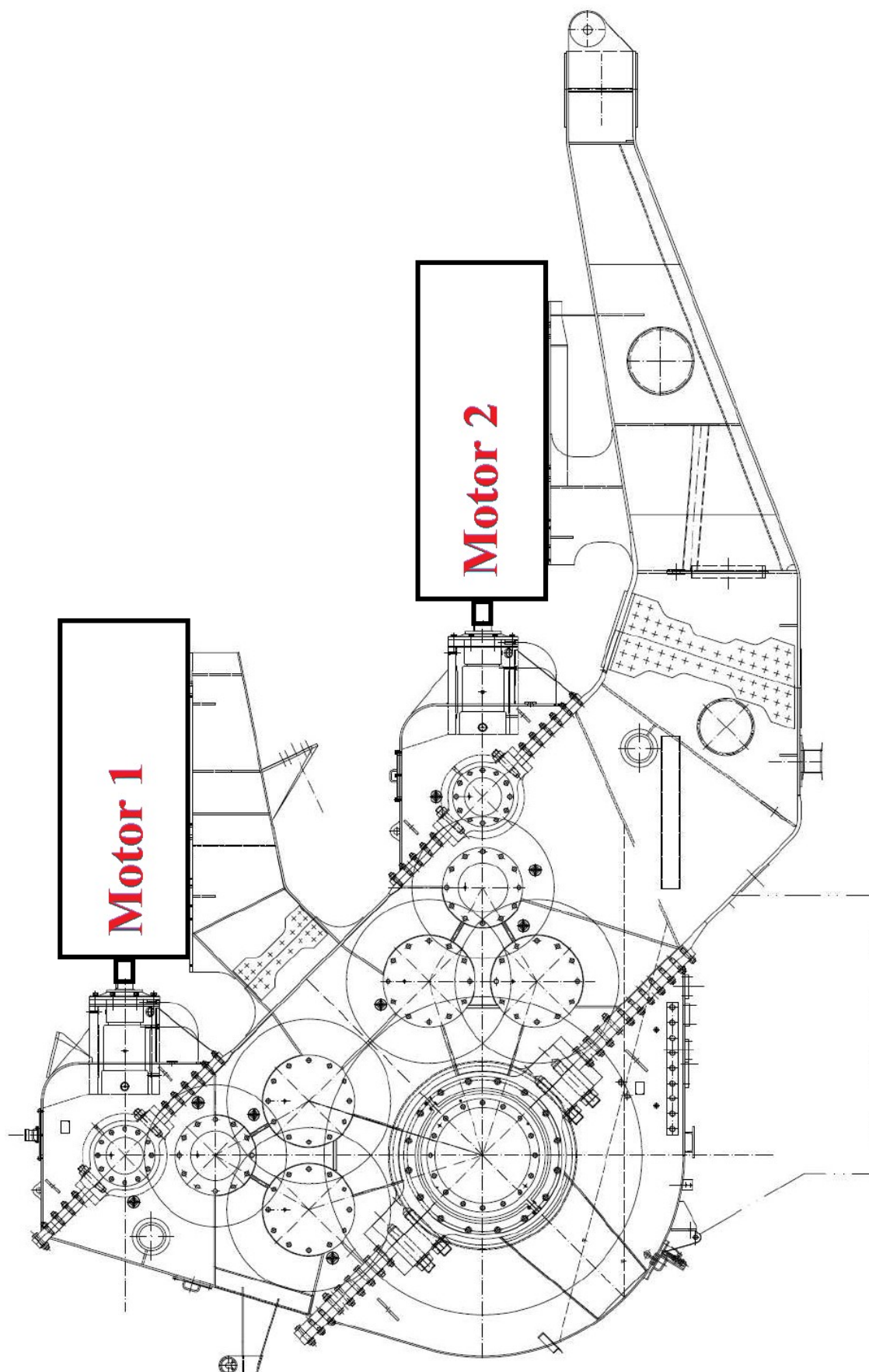
Vedoucí oddělení elektro

Odbor péče o majetek

SD a.s.

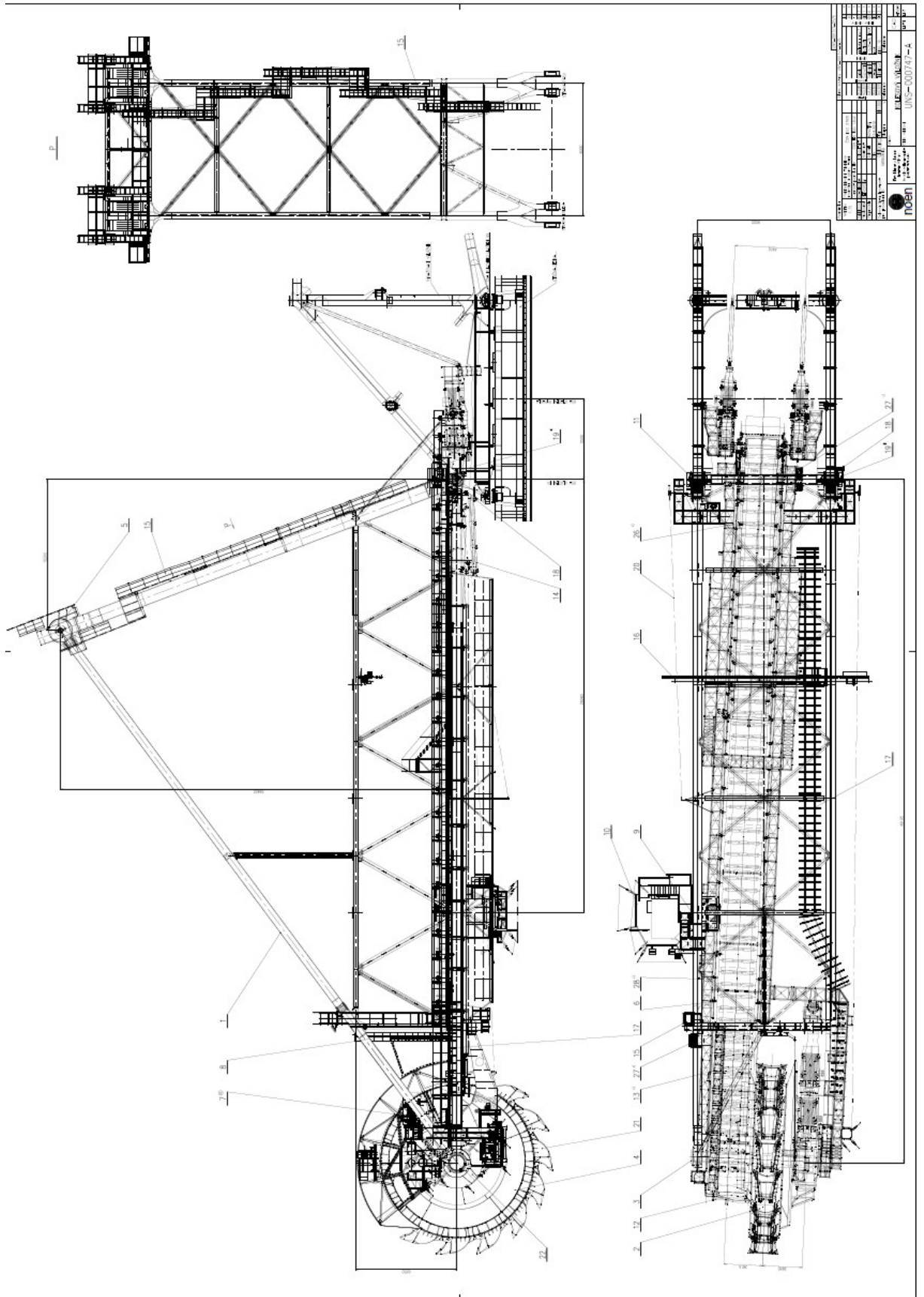
V Bílině dne 8. 3. 2016

**Příloha B: technický výkres převodovky s motory a Omega spojkami**





**Příloha D: technický výkres dobývací části**





**Příloha E: katalogové hodnoty Active Line Modulu**

<b>SINAMICS S120 Cabinet Modules</b>					
<b>Active Line Modules including Active Interface Modules</b>					
<b>Technical data</b>					
<b>Voltage 500 ... 690 V 3 AC</b>		<b>Active Line Modules</b>			
		6SL3730-7TG35-8BA3	6SL3730-7TG37-4BA3	6SL3730-7TG41-0BA3	6SL3730-7TG41-3BA3
<i>parallel circuit configuration, mounted left at the Line Connection Module</i>			6SL3730-7TG37-4BC3	6SL3730-7TG41-0BC3	6SL3730-7TG41-3BC3
<b>power</b>					
DC (50 Hz 690 V)	kW	560	800	1100	1400
DC (50 Hz 690 V)	kW	550	705	980	1215
DC (50 Hz 500 V)	kW	435	560	780	965
DC (50 Hz 500 V)	kW	400	510	710	880
DC (60 Hz 575 V)	hp	600	900	1250	1500
DC (60 Hz 575 V)	hp	450	600	1000	1250
<b>current</b>					
DC current $I_{NDC}$	A	644	823	1148	1422
load current $I_{HDC}^{1)}$	A	573	732	1022	1266
maximum current $I_{maxDC}$	A	966	1234	1722	2133
<b>regenerative feedback</b>					
DC current $I_{NE}$	A	575	735	1025	1270
maximum current $I_{maxE}$	A	862	1102	1537	1905
<b>auxiliary power demand <sup>2)</sup></b>					
DC auxiliary power supply	A	1.57	1.67	1.87	1.87
AC auxiliary power supply	A	4.6	4.9	4.9	4.9
AC	A	3.0	4.4	4.4	4.4
AC	A	2.1	3.1	3.1	3.1
<b>capacitance</b>					
Line Module	μF	7400	11100	14400	19200
line-up, max.	μF	59200	153600	153600	153600
<b>loss, max. <sup>3)</sup></b>					
50/690 V	kW	13.6	19.2	22.8	26.1
575 V	kW	13.0	18.6	22.1	24.9
<b>air requirement</b>					
	m <sup>3</sup> /s	1.58	1.88	1.88	1.88
<b>sound pressure level <math>L_{pA}^{4)}</math></b>					
50/60 Hz	dB	77/79	77/79	77/79	77/79
<b>mechanical connection</b>					
bar cross-section	mm <sup>2</sup>	600	600	600	600
conductor cross-section, max.	mm <sup>2</sup>	240	240	240	240
<b>length, max. <sup>5)</sup></b>					
field	m	2250	2250	2250	2250
welded	m	3375	3375	3375	3375
<b>degree of protection</b>					
		IP20	IP20	IP20	IP20
<b>dimensions</b>					
height <sup>6)</sup>	mm	1000	1400	1400	1400
	mm	2200	2200	2200	2200
	mm	600	600	600	600
weight, approx.	kg	930	1360	1360	1360
size		HX + HI	JX + JI	JX + JI	JX + JI

3

<sup>1)</sup> Base load current  $I_{HDC}$  is the basis for a duty cycle of 150 % for 60 s  $I_{maxDC}$  for 5 s with a duty cycle duration of 300 s.  
<sup>2)</sup> Current demand for the 500 V/690 V AC auxiliary power supply is 100 % from the line input voltage.  
<sup>3)</sup> Specified power loss represents the maximum value at 100 % operation. The value is lower under normal operating conditions.

<sup>4)</sup> Total sound pressure level of Active Interface Module and Active Line Module.  
<sup>5)</sup> Sum of all motor cables and DC link. Longer cable lengths for specific configurations are available on request.  
<sup>6)</sup> The cabinet height increases by 250 mm with IP21 degree of protection, and by 400 mm with IP23, IP43, IP54 degrees of protection.



**Příloha F: katalogové hodnoty Motor Modulu**

SINAMICS S120 Cabinet Modules						
Motor Modules chassis format						
Technical data		Motor Modules chassis format				
Line voltage 500 ... 690 V 3 AC DC link voltage 675 ... 1035 V DC		6SL3720-1TG38-1AA3	6SL3720-1TG38-8AA3	6SL3720-1TG41-0AA3	6SL3720-1TG41-0AA3	
<b>Type rating</b>						
• For $I_L$ (50 Hz 690 V) <sup>1)</sup>	kW	800	900	1000	1200	
• For $I_H$ (50 Hz 690 V) <sup>1)</sup>	kW	710	800	900	1000	
• For $I_L$ (50 Hz 500 V) <sup>1)</sup>	kW	560	630	710	900	
• For $I_H$ (50 Hz 500 V) <sup>1)</sup>	kW	500	560	630	800	
• For $I_L$ (60 Hz 575 V) <sup>2)</sup>	hp	800	900	1000	1250	
• For $I_H$ (60 Hz 575 V) <sup>2)</sup>	hp	700	800	900	1000	
<b>Output current</b>						
• Rated current $I_{NA}$	A	810	910	1025	1270	
• Base load current $I_L$ <sup>3)</sup>	A	790	880	1000	1230	
• Base load current $I_H$ <sup>4)</sup>	A	724	814	917	1136	
• Maximum current $I_{max A}$	A	1185	1320	1500	1845	
<b>DC link current</b>						
• Rated current $I_{N DC}$ when supplied from						
- Basic/Smart Line Module	A	972	1092	1230	1524	
- Active Line Module	A	875	983	1107	1372	
• Base load current $I_L DC$ <sup>3)</sup> when supplied from						
- Basic/Smart Line Module	A	947	1064	1199	1485	
- Active Line Module	A	853	958	1079	1337	
• Base load current $I_H DC$ <sup>4)</sup> when supplied from						
- Basic/Smart Line Module	A	865	971	1094	1356	
- Active Line Module	A	778	874	985	1221	
<b>Current demand</b>						
• 24 V DC auxiliary power supply	A	1.25	1.4	1.4	1.4	
• 690 V AC	A	3.1	3.1	3.1	3.1	
<b>DC link capacitance</b>		μF	11100	14400	14400	19200
<b>Pulse frequency <sup>5)</sup></b>						
• Rated frequency	kHz	1.25	1.25	1.25	1.25	
• Pulse frequency, max.						
- Without current derating	kHz	1.25	1.25	1.25	1.25	
- With current derating	kHz	7.5	7.5	7.5	7.5	
<b>Power loss, max. <sup>6)</sup></b>						
• At 50 Hz 690 V	kW	11.5	11.7	13.2	16.0	
• At 60 Hz 575 V	kW	10.5	10.6	12.0	14.2	
<b>Cooling air requirement</b>		m <sup>3</sup> /s	1.474	1.474	1.474	1.474
<b>Sound pressure level <math>L_{pA}</math> (1 m) at 50/60 Hz</b>		dB	72	72	72	72
<b>Connection</b>						
• M2		M12 screws	M12 screws	M12 screws	M12 screws	
• Conductor cross-section, max.	mm <sup>2</sup>	6 x 240	6 x 240	6 x 240	6 x 240	
<b>Length, max. <sup>7)</sup></b>						
• Unshielded	m	300	300	300	300	
• Shielded	m	450	450	450	450	
<b>Ground connection</b>						
• PE bar cross-section	mm <sup>2</sup>	600	600	600	600	
• Conductor cross-section, max.	mm <sup>2</sup>	240	240	240	240	
<b>Level of protection</b>						
		IP20	IP20	IP20	IP20	
<b>Dimensions</b>						
• Height <sup>8)</sup>	mm	800	800	800	800	
• Height <sup>9)</sup>	mm	2200	2200	2200	2200	
• Width	mm	600	600	600	600	
<b>Weight, approx.</b>		kg	700	700	700	700
<b>Mounting size</b>						
		JX	JX	JX	JX	

<sup>1)</sup> Rated power of a typ. 6-pole standard induction motor based on  $I_L$  or  $I_H$  with 500 V or 690 V 3 AC 50 Hz.

<sup>2)</sup> Rated power of a typ. 6-pole standard induction motor based on  $I_L$  or  $I_H$  with 575 V 3 AC 60 Hz.

<sup>3)</sup> The base load current  $I_L$  is the basis for a duty cycle of 110 % for 60 s or 150 % for 10 s with a duty cycle duration of 300 s.

<sup>4)</sup> The base load current  $I_H$  is the basis for a duty cycle of 150 % for 60 s or 160 % for 10 s with a duty cycle duration of 300 s.

<sup>5)</sup> Information regarding the correlation between the pulse frequency and max. output current/output frequency is provided in the SINAMICS Line Voltage Engineering Manual.

<sup>6)</sup> The specified power loss represents the maximum value at 100 % utilization. The value is lower under normal operating conditions.

3/74 Siemens D 21.3 · 2011

## Příloha G:katalogové hodnoty motoru

Niederspannungsmotoren H-compact II: 1LA4, rippengekühlt, eigenbelüftet  
für Konstantmomentantriebe (M = konst)

Bemes- sungs- höhe	Achs- höhe	Bestellnummer	Betriebswerte bei Bemessungsleistung								Anzugs- moment	Anzugs- strom	Kipp- moment	Trägheits- moment
			Schaltung	Bemes- sungs- drehzahl	Wirkungs- grad	Leistungs- faktor	Verlust- leistung	Bemes- sungs- strom	Leerlauf- strom	Bemessungs- drehmoment				
leistung	Wärmeklasse F	Ausnutzung nach B	$P_N$	$n_N$	$\eta$	$\cos \phi_N$	$P_V$	$I_N$	$I_0$	$M_N$	$M_N/M_N$	$I_N/I_N$	$M_N/M_N$	J
kW			min <sup>-1</sup>	%		kW	A	A	Nm				kgm <sup>2</sup>	

690 V 50 Hz

3000 min-1, 2-polig

1040 450 1LA4454-2 CM0\_ Δ 2981 97,2 0,92 29,1 970 205 3331 1,00 6,2 2,70 22,2

1500 min-1, 4-polig

1000 450 1LA4454-4 AM0\_ Δ 1493 97,3 0,89 27,0 970 292 6396 1,95 7,5 2,80 33,9

1160 500 1LA4500-4 CM0\_ Δ/Δ 1492 96,9 0,88 36,0 1140 325 7424 0,80 6,0 2,40 44,3

1350 500 1LA4502-4 CM0\_ Δ/Δ 1494 97,2 0,86 37,8 1360 445 8629 0,85 6,5 2,60 49,0

1450 500 1LA4504-4 CM0\_ Δ/Δ 1493 97,3 0,89 39,2 1400 375 9274 0,85 6,1 2,40 56,2

1000 min-1, 6-polig

790 450 1LA4454-6 AM0\_ Δ 994 97,1 0,85 22,9 800 275 7589 2,40 7,5 2,80 53,5

1120 500 1LA4500-6 CM0\_ Δ/Δ 995 97,1 0,85 32,5 1140 415 10749 0,85 6,3 2,65 82,1

1200 500 1LA4502-6 CM0\_ Δ/Δ 995 97,2 0,85 33,6 1220 415 11516 0,85 6,2 2,65 92,4

1300 500 1LA4504-6 CM0\_ Δ/Δ 995 97,3 0,86 35,1 1300 445 12476 0,85 6,5 2,70 102,6

1550 560 1LA4560-6 CM0\_ Δ/Δ 996 97,4 0,85 40,3 1560 570 14860 0,80 6,5 2,80 141,5

1650 560 1LA4562-6 CM0\_ Δ/Δ 996 97,4 0,84 42,9 1680 660 15819 0,90 7,0 3,10 162,1

1850 560 1LA4564-6 CM0\_ Δ/Δ 995 97,6 0,85 44,4 1860 680 17754 0,85 7,0 3,00 188,5

750 min-1, 8-polig

570 450 1LA4454-8 AM0\_ Δ 745 96,60 0,78 19,4 630 300 7306 2,30 7,0 2,80 52,8

820 500 1LA4500-8 CM0\_ Δ 746 96,6 0,79 27,9 900 390 10496 0,75 5,5 2,40 81,7

890 500 1LA4502-8 CM0\_ Δ 746 96,7 0,80 29,4 960 410 11392 0,80 5,5 2,40 91,9

980 500 1LA4504-8 CM0\_ Δ/Δ 746 96,8 0,80 31,4 1060 460 12544 0,80 5,7 2,50 102,2

1120 560 1LA4560-8 CM0\_ Δ/Δ 746 96,9 0,79 34,7 1220 580 14336 0,80 6,1 2,85 141,6

1250 560 1LA4562-8 CM0\_ Δ/Δ 746 97,0 0,79 37,5 1360 640 16000 0,80 6,1 2,90 162,3

1400 560 1LA4564-8 CM0\_ Δ/Δ 746 97,1 0,79 40,6 1520 720 17920 0,85 6,4 3,00 188,8

Bauform:

- ↑
- 0 IM B3
- 4 IM V1 mit Schutzdach
- 8 IM V1 ohne Schutzdach

Betriebswerte gültig für Sinusspeisung

<sup>1)</sup> gültig für Wälzlagerung und Bauform IM B3