

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Elektrotechnická fakulta

Katedra pohonov a trakcie



Oživení čtyřkvadrantového měniče pro pohon dynamometru

Application of 4Q converter for dynamometer drive

Bakalárska práca

Študijný program: Elektrotechnika, energetika a management

Študijný obor: Aplikovaná elektrotechnika

Vedúci práce: Ing. Ján Bauer, Ph.d.

Tomáš Gajdoš

Praha 2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Gajdoš** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **466224**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektrotechnologie**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Oživení čtyřkvadrantového měniče pro pohon dynamometru

Název bakalářské práce anglicky:

Application of 4Q converter for dynamometr drive

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznamte se s možností řízení otáček stejnosměrného motoru
- 2) Oživte 4Q usměrňovač a připojte ho dynamometru
- 3) Popište postup oživení měniče v prostředí starter
- 4) Naprogramujte regulační smyčku dynamometru

Seznam doporučené literatury:

- [1] LEONHARD, Werner. Control of electrical drives. 3rd ed. Berlin: Springer, c2001. ISBN 3-540-41820-2.
- [2] HRABOVCOVÁ, Valéria. Moderné elektrické stroje. Žilina: Žilinská univerzita, 2001. ISBN 80-7100-809-5.
- [3] Manály SIEMENS - měnič DCM
- [4] Manály SIEMENS - SW STARTER

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jan Bauer, Ph.D., katedra elektrických pohonů a trakce FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **08.02.2019** Termín odevzdání bakalářské práce: **24.05.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2020**

Ing. Jan Bauer, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prehlásenie

„Prehlasujem, že som predloženú prácu vypracoval samostatne a že som uviedol všetky použité informačné zdroje v súlade s Metodickým pokynom o dodržiavaní etických princípov pri príprave vysokoškolských záverečných prác.“

V Prahe dne:

Podpis:

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu mojej bakalárskej práce Ing. Jan Bauer Ph.D. za účinnú pedagogickú, metodickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce.

V Prahe dňa Podpis autora

Abstrakt

Bakalárska práca sa zaoberá oživením jednosmerného motora cez tyristorový usmerňovač pomocou softwaru STARTER a ďalej sa venuje jeho základnej konfigurácii. Následne je v práci uvedený postup pripojenia PLC na menič, pomocou ktorého sa snažíme ovládať motor. PLC je konfigurované v TIA portal-i, v ktorom sa nastavuje aj samotné prepojenie meniča a daného programovateľného kontroléra. V poslednej časti je načrtnutý postup na nastavenie riadenia podľa jednej z typických mechanických charakteristík, ktorú si zvolíme.

Kľúčové slová

Jednosmerný motor s cudzím budením, tyristorový usmerňovač, DCM menič, TIA portal, STARTER

Abstract

The bachelor thesis deals with the application of the DC motor fed through a thyristor rectifier using STARTER software and further deals with its basic configuration. As a next part there is a procedure of connecting the PLC to the converter by which we try to control the motor. The PLC is configured in the TIA portal, which also sets up the interface of the converter and the programmable controller itself. The last part outlines the procedure for setting the control according to one of the typical mechanical characteristics we choose.

Key words

Shunt DC motor – separately excited, thyristor rectifier, DCM converter, TIA portal, STARTER

Obsah

Úvod	13
1. Jednosmerný motor	14
1.1 Význam a využitie.....	14
1.2 Konštrukcia	14
1.3 Princíp činnosti.....	16
1.4 Činnosť motora s cudzím budením	16
1.4.1. Spúšťanie	17
1.4.2 Chod pri záťaži	19
1.4.3 Mechanické charakteristiky	20
1.4.4 Riadenie rýchlosti	23
2 Tyristorový menič	26
2.1 Riadený štvorkvadrantový menič.....	27
2.2 Riadenie štvorkvadrantového meniča	29
2.3 Reverzný tyristorový usmerňovač.....	30
3. Popis pracoviska	32
3.1 Jednosmerný motor	32
3.2 SINAMICS DC Master	32
3.3 Software Siemens STARTER	34
3.4 Popis prepojenia DCM meniča a SW STARTER.....	34
3.5 Popis prepojenia DCM meniča, PLC, STARTER a TIA	48
3.6 Programové riešenie	55
3.7 Návrh momentového výpočtu	62
Záver	64
Zoznam použitej literatúry	65

Zoznam obrázkov

- Obr. 1. Zloženie jednosmerného motora [16]
- Obr. 1.1 Zloženie jednosmerného motora – priečny rez [1]
- Obr. 2. Princíp činnosti jednosmerného motora [1]
- Obr. 3 Obvodové schéma jednosmerného motora s cudzím budením [1]
- Obr. 4 Schéma spúšťania motora s cudzím budením [1]
- Obr. 5 Rýchlostná charakteristika [1]
- Obr. 5.1 Momentová charakteristika [1]
- Obr. 5.2 Mechanická charakteristika [1]
- Obr. 5.3 Mechanická charakteristika – hoblovková[2]
- Obr. 5.4 Mechanická charakteristika - kalandrová[2]
- Obr. 5.5 Mechanická charakteristika – ventilátorová [2]
- Obr. 5.6 Mechanická charakteristika – navíjačková [2]
- Obr. 6 Riadenie rýchlosti motora pri konštantnom prúde [1]
- Obr. 7 Tyristorový mostíkový usmerňovač [3]
- Obr. 7.1 Priebeh napätie – tyristorový usmerňovač [12]
- Obr. 7.2 Charakteristika 4Q pre moment a otáčky[15]
- Obr. 7.3 a) 4Q usmerňovač, b) smer otáčok doprava, c) smer otáčok doľava, d) brzdenie [15]
- Obr. 8 Štvorkvadrantový usmerňovač [6]
- Obr. 9 Bipolárne riadenie [5]
- Obr. 9.1 Unipolárne riadenie [15]
- Obr. 9.2 Tyristorový usmerňovač
- Obr. 10 BOP20 Operátorský panel
- Obr. 11 Silová schéma pre zariadenia od 15 do 30 A [8]

- Obr. 12 Založenie projektu v STARTER-i
- Obr. 12.1 Vloženie riadiacej jednotky
- Obr. 12.2 Nastavenie vlastností pohonu
- Obr. 12.3 Nastavenie funkčných modulov
- Obr. 12.4 Výber napájacej jednotky
- Obr. 12.5 Nastavovanie štítkových hodnôt motora
- Obr. 12.6 Nastavenie prúdového obmedzenia závislom na rýchlosti
- Obr. 12.7 Nastavenie motorovej brzdy
- Obr. 12.8 Nastavenie enkodérov a analógového tachometra
- Obr. 12.9 Nastavenie budiaceho poľa
- Obr. 12.10 Nastavenie výmeny procesných dát - telegramy
- Obr. 12.11 Nastavenie prúdových a momentových limitov
- Obr. 12.12 Detekcia zariadení v sieti
- Obr. 12.13 Pripojenie k zariadeniu a prechod do Online módu
- Obr. 12.14 Automatické určenie parametrov vinutí
- Obr. 12.15 Detekované vlastnosti jednotlivých vinutí
- Obr. 12.16 Expert list – nastavenie parametrov riadiacej jednotky/pohonu
- Obr. 12.17 Control panel - Spúšťanie motora
- Obr. 12.18 Nastavenie sledovaných parametrov
- Obr. 12.19 Time trace - výber sledovaných parametrov
- Obr. 12.20 Time trace – možnosti nahrávania
- Obr. 12.21 Time trace – nastavenie „trigger“-u
- Obr. 12.22 Time trace – zaznamenaný priebeh a meranie pomocou kurzorov
- Obr. 12.23 Nastavenie času Ramp-up a Ramp-down
- Obr. 12.24 Control panel a veličiny v reálnom čase

Obr. 12.25 Osciloskop – priebeh napätia a prúdu na kotve a priebeh otáčok

Obr. 12.26 Osciloskop – priebeh napätia na buzení a prúd budenia

Obr. 13 Prepojenie jednotlivých súčastí

Obr. 13.1 TIA portal – vytvorenie projektu

Obr. 13.2 TIA portal – výber správnej verzie PLC

Obr. 13.3 TIA portal – Network view

Obr. 13.4 TIA portal – vloženie meniča a prepojenie zariadení

Obr. 13.5 TIA portal – Accessible nodes – prístupové uzly

Obr. 13.6 TIA portal – prechod do Online módu

Obr. 13.7 TIA portal – priradenie IP adresy a názvu

Obr. 13.8 TIA portal – priradenie IP adresy a názvu

Obr. 13.9 TIA portal – prenos programu do PLC

Obr. 13.10 STARTER – nastavenie telegramov

Obr. 13.11 TIA portal – výber a vloženie telegramov

Obr. 13.12 TIA portal – vloženie SINA_SPEED

Obr. 13.13 Popis funkcie - SINA_SPEED [14]

Obr. 13.14 TIA portal – System constants obrazok funkcie

Obr. 13.15 TIA portal – názorná bloková funkcia

Obr. 13.16 TIA portal – Watch table

Obr. 13.17 TIA portal – Watch table – sledovací mód

Obr. 13.18 TIA portal – Standard telegram 1 – spustenie a 1750 otáčok

Obr. 13.19 STARTER – Standard telegram 1 – spustenie a 1750 otáčok

Obr. 13.20 TIA portal – Standard telegram 1 – vypnutie a 875 otáčok

Obr. 13.21 STARTER – Standard telegram 1 – vypnutie a 875 otáčok

Obr. 13.22 Popis funkcie SINA_PARA_S

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 Štítkové hodnoty motora

Tabuľka 2 Komunikačné telegramy

Tabuľka 3 Dátový typ WORD

Tabuľka 4 Vysielané kontrolné slová a setpointy

Tabuľka 5 Prijímané kontrolné slová a setpointy

Tabuľka 6 Popis terminálov funkcie SINA_PARA_S

Zoznam symbolov a skratiek

Značka	Veličina	Jednotka
DC	Jednosmerný	
ξ	Konštanta magnetického toku rotora	-
ϕ	Magnetický tok	Wb
HMI	Rozhranie medzi človekom a strojom	
i_a	Prúd vinutím rotora	A
i_b	Budiaci prúd	A
I_z	Záberný prúd	A
J_c	Moment zortvačnosti	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$
k	Konštanta magnetického obvodu	-
k_ϕ	Konštanta magnetického toku budenia	-
L_a	Indukčnosť vinutia rotora	H
L_b	Indukčnosť vinutia statora	H
M	Moment	N.m
M_z	Zátťažný moment	N.m
mm	Jednotka vzdialenosti	
n	Otáčky za minútu	-
Obr.	Obrázok	
Ω	Úhlová rýchlosť	$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$
PLC	Programovateľná logická riadiaca jednotka	
R	Odpor v obvode kotvy	Ohm
R_b	Odpor v obvode budenia	Ohm
R_d	Nastavovateľný odpor v obvode budenia	Ohm
R_s	Nastavovateľný odpor v obvode kotvy	Ohm
rpm	Otáčky za minútu	
sgn	Funkcia signum	-
u	Napätie kotvy	V
u_b	Napätie na budení	V
u_i	Indukované napätie	V
V_{RMS}	Efektívna hodnota napätia	V
TIA	Kompletne integrovaný softvér	

Úvod

Moja práca je zameraná na oživenie štvorkvadrantového meniča pre pohon dynamometra. V úvodných kapitolách sa budem venovať teórii jednosmerného motora, jeho konštrukcii a základnému princípu, jeho riadeniu a typickým charakteristikám. Ďalšia časť bude venovaná základnej teórii tyristorového meniča, ktorý používam v mojej aplikácii a taktiež si predstavíme možnosti jeho riadenia. V ďalšej kapitole bude opísané pracovisko, predstavenie jednotlivých súčasti celku – hardware, software. Následne začnem s pripojením jednotlivých častí na elektrickú sieť. Po úspešnom základnom oživení sa presuniem na prepojenie hardwarových častí. Nasledovať bude prepojenie cez ethernetové rozhranie a základné ovládanie motora pomocou softwaru STARTER. Daný software by mal umožniť okrem základného spúšťania motora aj zaznamenávať priebeh základných parametrov a následne to ukladať a mnoho ďalších možností. Po úspešnom prepojení sa pokúsim oživiť PLC spoločne so softwarom TIA portal v celkovom spojení s meničom a STARTER-om. V tejto časti je cieľom nadviazanie komunikácie medzi PLC a DC meničom cez ethernetové rozhranie ProfiNET. V prípade úspešnej komunikácie je ďalší krok naznačenie získavania hodnoty otáčok v reálnom čase a následný prepočet na moment na základe požadovanej aplikácie. Cieľom práce by malo byť poskytnutie dostatočného podkladu pre ďalšie aplikácie štvorkvadrantového meniča v laboratóriách elektrických pohonov.

1. Jednosmerný motor

Nasledujúce kapitoly budú venované využitiu a významu jednosmerného motora s cudzím budením, jeho konštrukcii, princípu činnosti a jeho riadeniu.

1.1 Význam a využitie

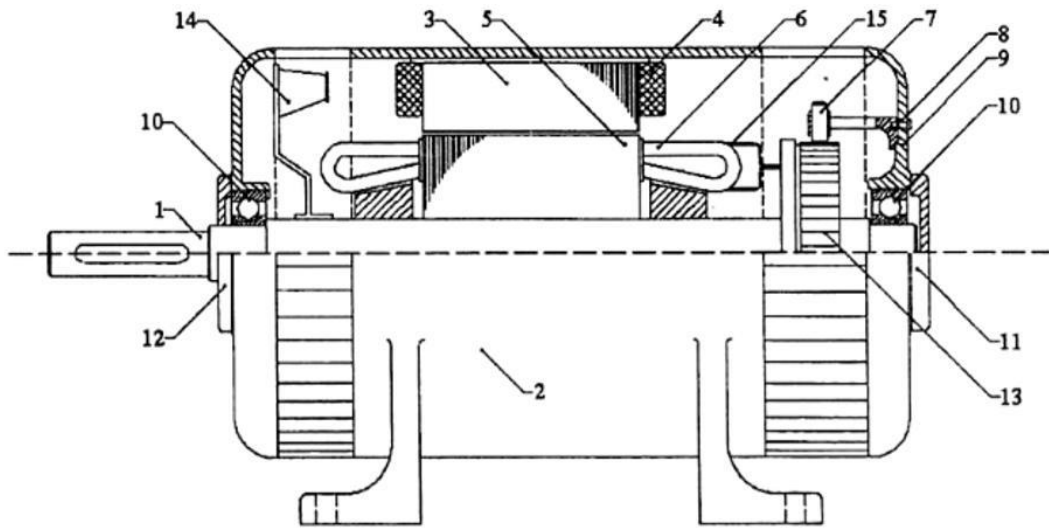
Jednosmerné motory s cudzím budením sa využívajú najmä tam, kde je požiadavka na širokú a plynulú reguláciu rýchlosti alebo na ťažké podmienky rozbehu. Jedna z dominantných výhod jednosmerných motorov je jednoduchá riaditeľnosť otáčok a spoľahlivosť. Reguláciu otáčok alebo reverzáciu je možné uskutočniť zmenou napájacieho napätia pomocou napäťových meničov. Z tejto výhody vyplýva využitie najmä u regulačných pohonov v spolupráci s riadeným usmerňovačom alebo v Leonardovej skupine. Tento typ motora našiel uplatnenie aj vo výrobe v priemyselných robotoch, pretože poskytuje vysokú dynamiku a má nízky moment zotrvačnosti. V priemysle sa využíva aj u obrábacích strojov, ťažných strojov, valcovacích stolíc a v automobilovom priemysle.

1.2 Konštrukcia

Jednosmerný motor je zložený zo statora a rotora. Medzi statorom a rotorom je vzduchová medzera. Vzduchová medzera pri malých strojoch je približne 1 až 3 mm široká, veľké stroje majú vzduchovú medzeru 10 až 15 mm. Jej veľkosť má dôležitý vplyv na vlastnosti stroja.

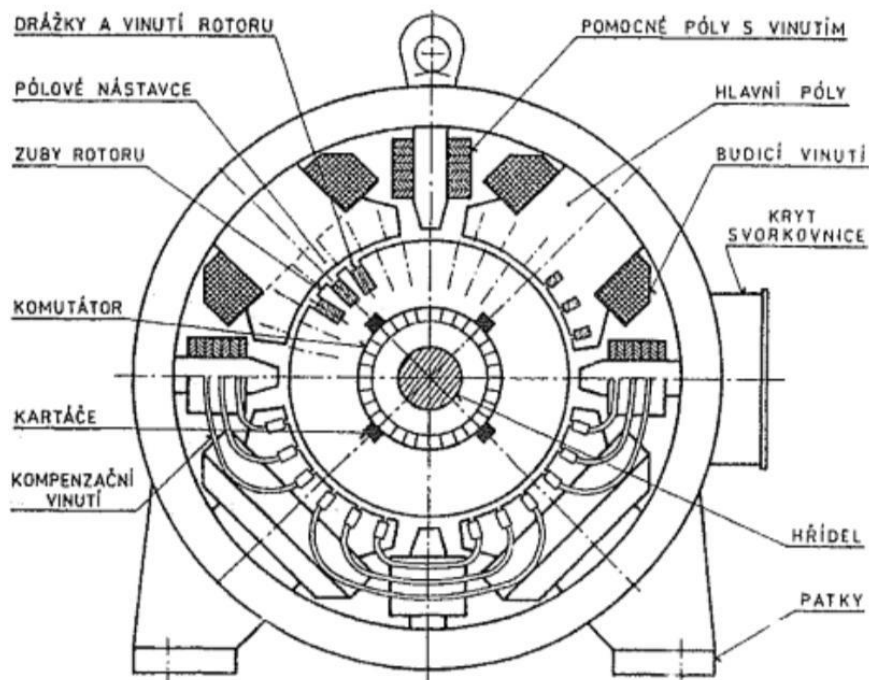
Rotor sa taktiež nazýva aj kotva. Kotva má tvar valca a obsahuje hriadeľ, vinutie a komutátor. Vodiče kotvy tvoria cievky, ktoré sú spojené do série a sú vyvedené na vzájomne izolované lamely komutátora, na ktoré dosadajú uhlíkové kartáče zberného ústroja. Toto ústroje zabezpečuje prevod prúdu medzi vonkajším obvodom a vinutím kotvy. Samotný rotor je zložený zo zväzku izolovaných plechov pre elektrotechniku hrúbky 0,5mm pre obmedzenie strát vírivými prúdmi. Vinutie rotora je uložené v drážkach rotora. Čela vinutia sú kvôli odstredivej sile zabezpečené bandážami z nemagnetickej oceli alebo páskami na bázi skla.

Stator tvorí magnetický obvod alebo jho. K statoru sú okrem hlavných pólov pripevnené aj pomocné či komutačné póly pre zlepšenie komutácie. Ich vinutie s malým počtom závitov, ale veľkým prierezom je zapojené do hlavného obvodu a preteká ním prúd kotvy. Magnetický tok je vedený medzi pólmi jha. Jho môže byť vyrobené z oceľových plechov, ktoré sú od seba oddelené izoláciou alebo z magneticky mäkkej ocele. Ak obvodom prechádza premenné napätie, tak je nutné použiť oceľové plechy, aby sa zamedzilo stratám v železe spôsobených vírivými prúdmi. Vírivé prúdy je možné obmedziť aj pridaním približne 4% kremíka do plechu. Pri stálom magnetickom toku je možné použiť aj magneticky mäkkú oceľ. Hlavné póly sú vyrobené z plechu. Pomocné póly sú vyrobené z masívneho kovu.



Obr.1. Zloženie jednosmerného motora [16]

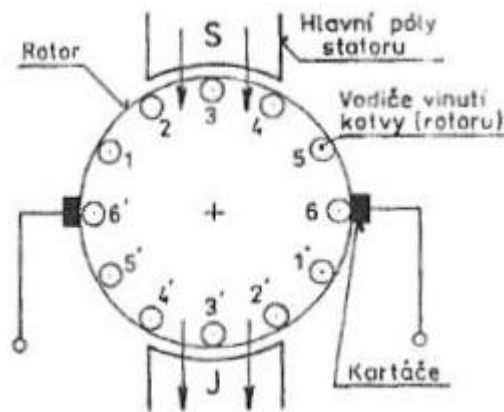
Legenda: 1 – hriadeľ, 2 – kostra statora, 3 – hlavný pól, 4 – budiace vinutie , 5 – rotor, 6 – vinutie rotora, 7 – držiak kartáča, 8 – „brejle“, 9 – predný kryt motora, 10 – ložiská, 11 – kryt predného ložiska, 12 – kryt zadného ložiska, 13 – komutátor, 14 – ventilátor, 15 – vývod rotorového vinutia na komutátor



Obr.1.1 Zloženie jednosmerného motora – priečny rez [1]

1.3 Princíp činnosti

Základom činnosti jednosmerného motora je princíp pôsobenia síl na vodič, ktorým preteká jednosmerný prúd a nachádza sa v magnetickom poli. Tento princíp, ako funguje jednosmerný motor je možné vysvetliť pomocou Obr.2. Rotor sa otáča v magnetickom poli, ktoré je tvorené budiacim vinutím umiestneným na hlavných póloch na statore alebo permanentnými magnetmi. Permanentné magnety sa využívajú najmä pre malé motory. Vinutie rotora je tvorené vodičmi rozloženými na jeho vonkajšom obvode, ktoré je spojené do uzavretého vinutia. Prúd vodičmi sa rozdelí tak, že v jednej polovici vodičou medzi susednými kartáčmi tečie jedným smerom v zmysle osi stroja, v druhej polovici vodičou opačným smerom. Pri otáčaní rotora a kartáča v pevnej polohe dochádza pôsobením komutátora a kartáčov k plynulému prepínaniu vodičov k zabezpečeniu správneho chodu. [1]



Obr. 2. Princíp činnosti jednosmerného motora [1]

1.4 Činnosť motora s cudzím buđením

Pomocou matematického modelu opíšeme jednotlivé deje vyskytujúce sa u jednosmerných motorov:

$$u = R * i_a + L_a * \frac{di_a}{dt} + u_i \quad (1.1)$$

$$u_b = R * i_b + L_b * \frac{di_b}{dt} \quad (1.2)$$

$$M - M_z = J_c * \frac{d\Omega}{dt} \quad (1.3)$$

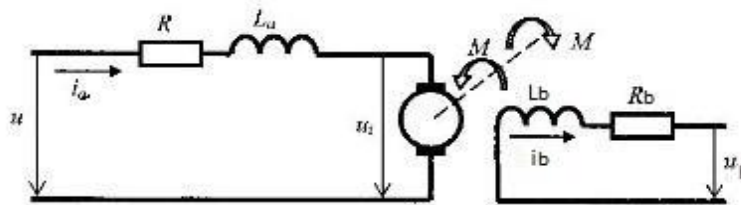
$$u_i = k * \phi * \Omega = \xi * \Omega \quad (1.4)$$

$$M = k * \phi * i_a = \xi * i_a \quad (1.5)$$

$$\phi = f(i_b) = k_\phi * i_b \quad (1.6)$$

Napät'ová rovnica motora:

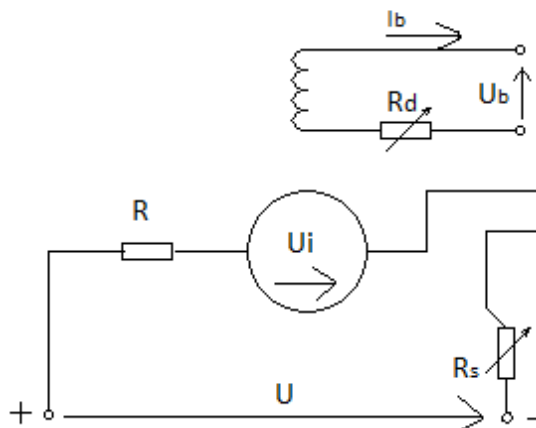
$$U = k * \phi * \Omega + R * I = U_i + R * I \quad (1.7)$$



Obr. 3 Obvodové schéma jednosmerného motora s cudzím budením [1]

1.4.1. Spúšťanie

Schéma spúšťania motora s cudzím budením na Obr. 3. Prvou podmienkou pri spúšťaní motora je ho plne nabudiť, aby mal motor veľký záberný moment aj pri menšom zábernom prúde kotvy. Pri menšom prúde je aj menšie iskrenie pri komutácii. [1]



Obr.3.1 Schéma spúšťania motora s cudzím budením [1]

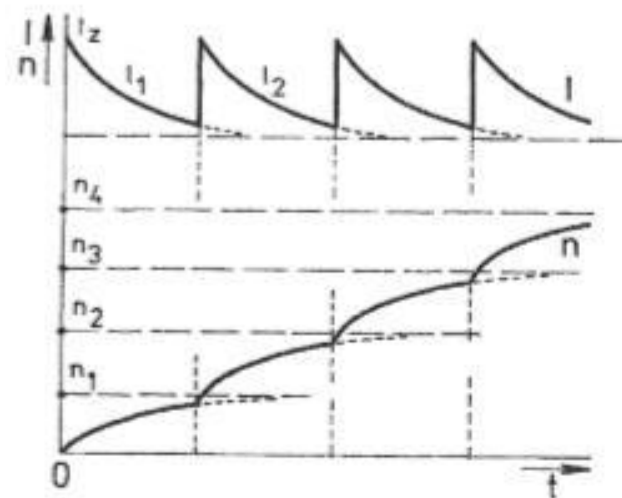
Následne pripojíme kotvu na zdroj zvyčajne cez spúšťací odpor R_S , pretože ak motor stojí,

$$M_Z = k * \phi * I \quad (1.8)$$

tak $U_i = 0$ a záberný prúd je obmedzený len malým odporom kotvy.

Záberný prúd je zadaný následovne:

$$I_Z = \frac{U}{R + R_S} \quad (1.9)$$



Obr. 4 Priebeh prúdu a otáčok pri spúšťaní motora [1]

Akonáhle sa motor roztočí, tak U_i nadobudne nenulovej hodnoty a prúd kotvy nadobudne hodnoty podľa vzťahu (kap. 2.4.) rovný:

$$I = \frac{U - U_i}{R + R_S} \quad (1.10)$$

Čím je rýchlosť n vyššia, tým je indukované napätie vyššie a teda prúd I aj moment M klesá. Po istej dobe sa rýchlosť aj prúd ustáli na n_1 a I_1 , obr. 3.1. Pri vyradení jedného stupňa spúšťacieho odporu a zanedbaní indukčností vinutia skokovo stúpne napätie na kotve U a teda aj prúd I_2 . Moment M , ktorý urýchľuje zotrvačné hmoty vzrastie až na rýchlosť n_2 . Takýmto spôsobom to prebieha až do vyradenia spúšťacieho odporu. Motor s cudzím budením je možné spúšťať bez odporu riadením napätia zdroja U , pomocou Leonardovho sústroja alebo cez riadený usmerňovač. [1]

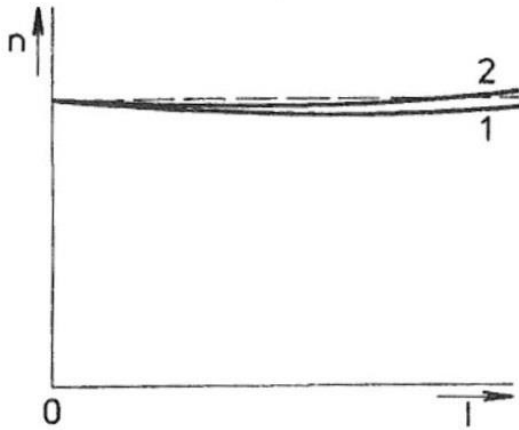
1.4.2 Chod pri zát'aži

Správanie motora pri zát'aži opisujú zaťažovacie charakteristiky:

- rýchlostná charakteristika $n(I)$ pri $U = \text{konšt.}$, $I_b = \text{konšt.}$
- momentová charakteristika $M(I)$ pri $U = \text{konšt.}$, $I_b = \text{konšt.}$
- mechanická charakteristika $n(M)$ pri $U = \text{konšt.}$, $I_b = \text{konšt.}$

Rýchlostná charakteristika $n(I)$ pri konštantnom napätí U a prúde I_b je opísaná nasledujúcou rovnicou:

$$n = \frac{U - R * I}{k * \phi} = \frac{U}{k * \phi} - \frac{R * I}{k * \phi} \quad (1.11)$$

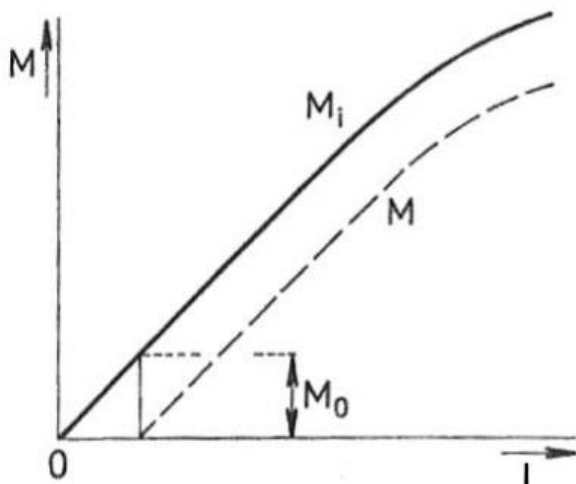


Podľa uvedenej rovnice je zrejmé, že rýchlosť n klesá so zvyšujúcim sa prúdom vplyvom úbytku napätia $R * I$ na kotve. Mierny pokles otáčok je spôsobený demagnetizačnými účinkami reakcie kotvy pri kartáčoch v neutrálnej polohe (1). Pri vyššom prúde môže dôjsť k tomu, že vplyv zoslabenia poľa môže prevážiť nad vplyv úbytku napätia na kotve a $n(I)$ môže ešte stúpať (2).

Obr. 5 Rýchlostná charakteristika [1]

Momentová charakteristika $M(I)$ pri konštantnom napätí U a prúde I_b definovaná rovnicou:

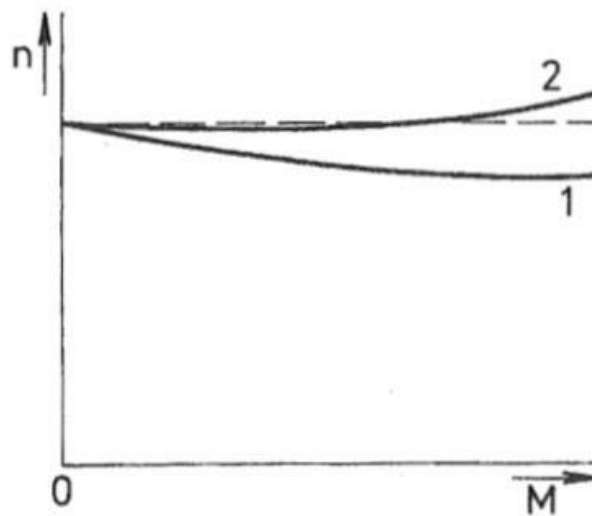
$$M = k * \phi * I \quad (1.12)$$



Z rovnice je zřejmé, že charakteristika je lineárna. K zakriveniu dochádza zvyčajne až pri prúdoch nad úrovňou menovitého, kde dochádza k demagnetizačnému účinku reakcie kotvy. Na obrázku vidíme, že mechanický moment M je zmenšený o moment strát naprázdno M_0 od vnútorného elektromagnetického momentu M_i .

Obr. 5.1 Momentová charakteristika [1]

Mechanická charakteristika $n(M)$ pri konštantnom napätí U a prúde I_b je podobná rýchlostnej charakteristike $n(I)$, pretože moment je takmer lineárne závislý na prúde I .



Obr. 5.2 Mechanická charakteristika [1]

1.4.3 Mechanické charakteristiky

Závislosť záťažného momentu na uhlovej rýchlosti vyjadruje mechanická charakteristika. Pre popis všeobecnej charakteristiky použijeme výraz:

$$M_z = a + \operatorname{sgn} \Omega * \sum_{i=1}^n b_i * |\Omega|^{k_i} \quad (1.13)$$

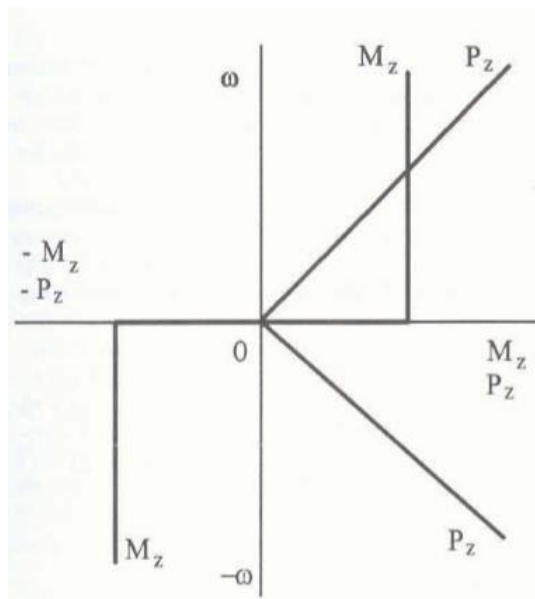
kde a , b_i , k_i , i sú konštanty.

Hobloková charakteristika je charakteristika, kde všeobecné konštanty nadobúdajú nasledovné hodnoty: $a = 0$, $k_i = 0$, $b_i = b_0$. Tento priebeh je typický pre hoblovky a obdobné obrábacie stroje, šrúbové pohony, ale aj pojazdy žeriavov. Jej moment a výkon je určený:

$$M_z = \operatorname{sgn} \Omega * b_0 \quad (1.14)$$

$$P_z = M_z * \Omega = \operatorname{sgn} \Omega * b_0 * \Omega \quad (1.15)$$

Grafický priebeh vyzerá nasledovne:

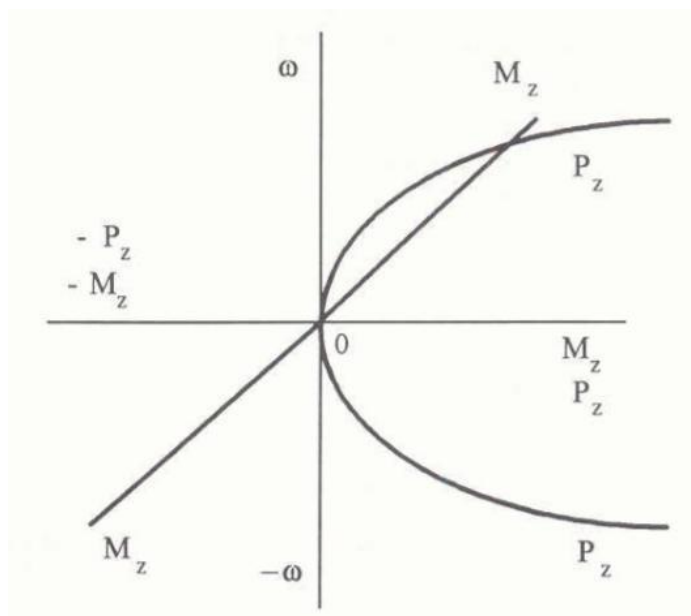


Obr. 5.3 Mechanická charakteristika – hobloková[2]

Kalandrová charakteristika je charakteristika s konštantami $a = 0$ a $k_i = 1$. Je typická pre mechanizmy s prevládajúcim viskozным trením – najmä textilné stroje. Vzťahy pre moment a výkon:

$$M_z = \operatorname{sgn} \Omega * b_1 * |\Omega| \quad (1.16)$$

$$P_z = M_z * \Omega = \operatorname{sgn} \Omega * b_1 * |\Omega| * \Omega \quad (1.17)$$

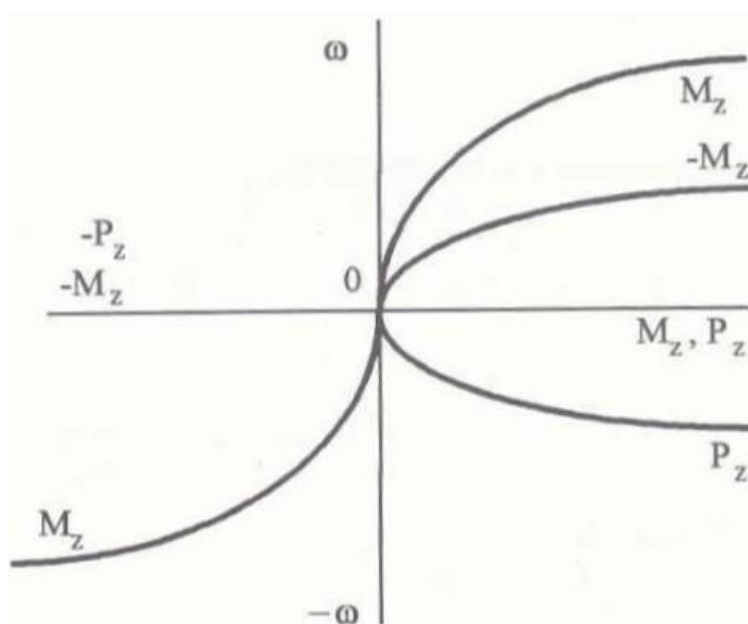


Obr. 5.4 Mechanická charakteristika - kalandrová[2]

Ventilátorová charakteristika je charakteristika s konštantami $a = 0$ a $k_i = 2$. Typická je pre odstredivé čerpadlá, ventilátory, kompresory, exhaustery a pod. Vzťah pre výpočet momentu a výkonu:

$$M_z = \text{sgn } \Omega * b_2 * |\Omega|^2 \quad (1.18)$$

$$P_z = M_z * \Omega = \text{sgn } \Omega * b_2 * |\Omega|^2 * \Omega \quad (1.19)$$

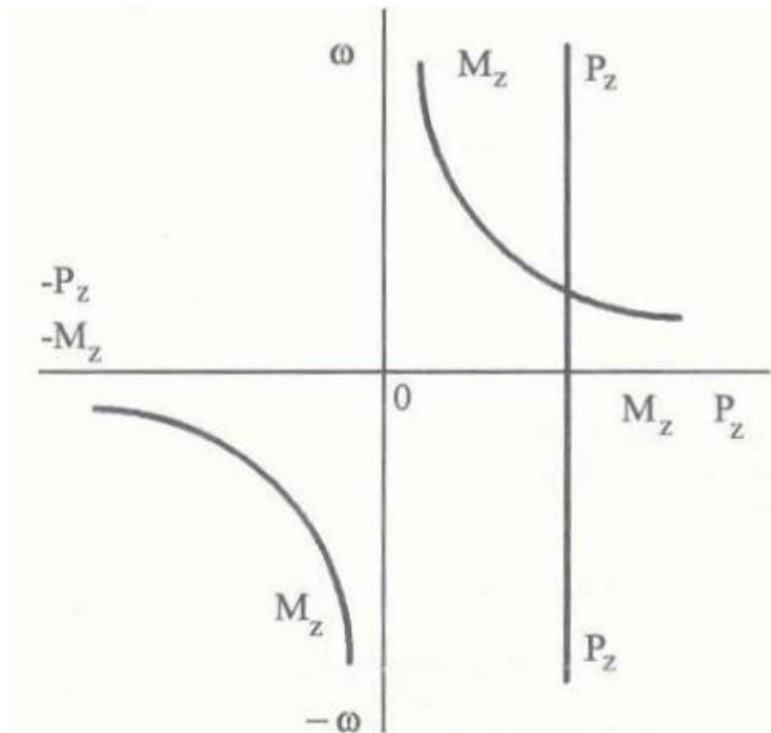


Obr. 5.5 Mechanická charakteristika – ventilátorová [2]

Navíjačková charakteristika je charakteristika s konštantami $a = 0$ a $k_1 = -1$. Typická je pre navíjacie stroje pri požiadavku stálej ťažnej sily. Jednotlivé vzťahy pre výpočet momentu a výkonu sú takéto:

$$M_z = \operatorname{sgn} \Omega * b_{-1} * \frac{1}{|\Omega|} \quad (1.20)$$

$$P_z = M_z * \Omega = \operatorname{sgn} \Omega * b_{-1} \quad (1.21)$$



Obr. 5.6 Mechanická charakteristika – navíjačková [2]

1.4.4 Riadenie rýchlosti

Rýchlosť motora je možné riadiť napätím na kotve U , zmenou magnetického toku ϕ alebo odporom R v obvode kotvy. Magnetický tok meníme pomocou budiaceho prúdu I_b . Ak znížime budiaci tok pomocou budiaceho prúdu, tak prúd sa chová podľa vzťahu:

$$I = \frac{U - k * \phi * n}{R} \quad (1.22)$$

Indukované napätie motora je zvyčajne:

$$U_i = k * \phi * n \approx 0,9 \quad (1.23)$$

Pri poklese magnetického toku na úroveň napríklad $0,8 * \phi$ je pomer prúdu pred a po odbudení nasledovný:

$$\frac{I_{po}}{I_{pred}} = \frac{1 - 0,8 * 0,9}{1 - 0,9} = 2,8 \quad (1.24)$$

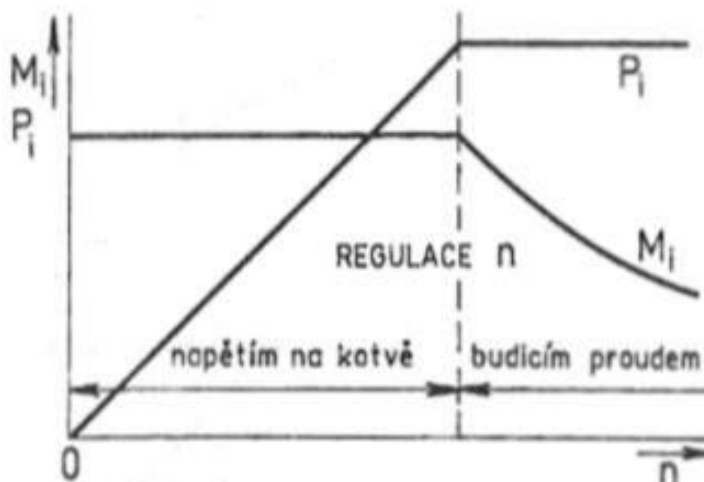
Pri zmenšení magnetického toku o 20% sa prúd zvýšil o 280%. So zvýšeným prúdom sa zvýšil aj moment a motor sa urýchlil, až kým sa neustáli rýchlosť a prúd podľa rovnice (viz vyššie) poklesne.

Ideálne riadenie rýchlosti je pri maximálnom momente, ktorý dosiahneme pri menovitom prúde kotvy. Riadenie rýchlosti pri konštantnom prúde dosiahneme tak, že najprv plne nabudíme motor prúdom I_b a následne zvyšujeme napätie U na svorkách kotvy.

Vzťahy, definujúce moment a výkon:

$$M = k * \phi * I \quad (1.25)$$

$$P_i = M_i * \Omega \quad (1.26)$$



Obr. 6 Riadenie rýchlosti motora pri konštantnom prúde [1]

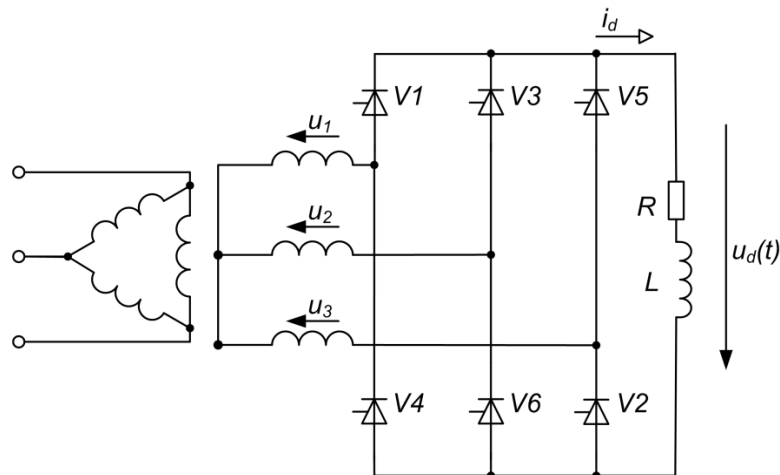
Ak máme $I_b = \text{konšt.}$, tak pri menovitom prúde I je moment konštantný a teda výkon P_i a uhlová rýchlosť ω_m rastú lineárne. Po dosiahnutí menovitého napätia na svorkách kotvy U_n sa výkon P_i nemení.

$$P_i = M_i * \Omega = k * \phi * I * \frac{U_i}{k * \phi} = U_i * I = \text{konšt.} \quad (1.27)$$

Ďalším spôsobom riadenia rýchlosti je pomocou budiaceho prúdu I_b a nazýva sa to riadenie pri konštantnom vnútornom výkone P_i . Princíp spočíva v tom, že znižujeme magnetický tok a teda stroj nie je úplne magneticky využitý a so zvyšujúcou rýchlosťou klesá moment. [1]

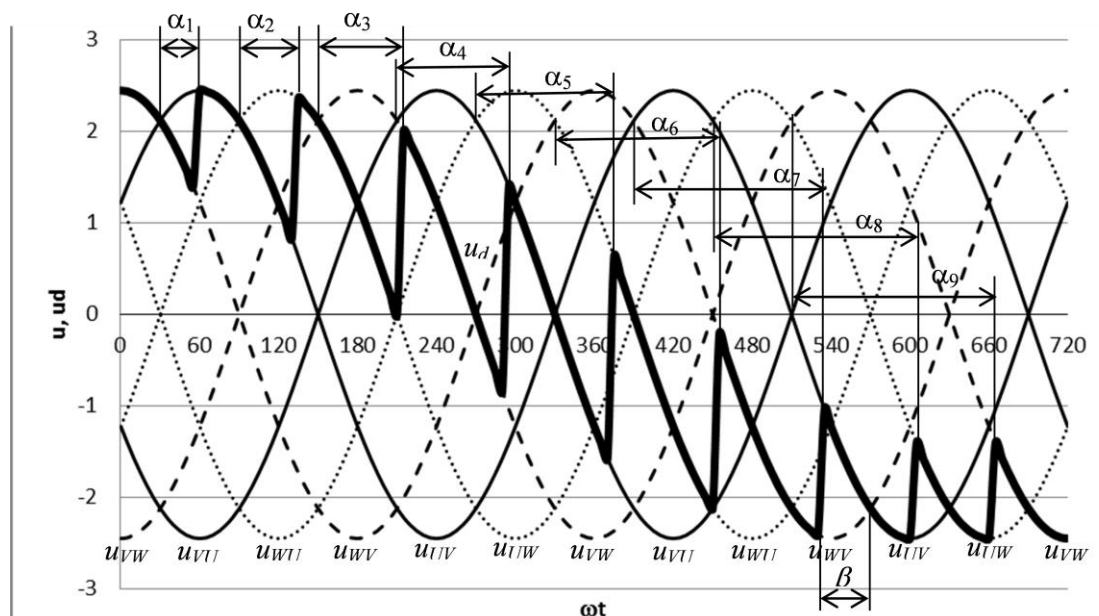
2 Tyristorový menič

Pre usmernenie väčších výkonov, od niekoľkých kW až po niekoľkých MW, sa používajú trojfázové usmerňovače. Medzi najjednoduchšie zapojenia patrí zapojenie do uzla.



Obr.7 Tyristorový mostíkový usmerňovač [3]

Mostíkový usmerňovač s tyristormi V1 až V6, kde V1, V3 a V5 vedú prúd kladných polovln napätia a V2, V4 a V6 vedú prúd záporných polovln napätia. Samotné riadenie spínania tyristorov môžeme ovplyvňovať riadiacim uhlom α , pomocou ktorého vieme riadiť strednú hodnotu napätia u_d na záťaži. V ideálnom prípade by malo byť možné nastaviť tento uhol od 0° až do 180° . Reálne je možné dosiahnuť uhol približne do 160° . Pri vyššom uhle by došlo k invertorovému skratu.



Obr. 7.1 Priebeh napätie – tyristorový usmerňovač [3]

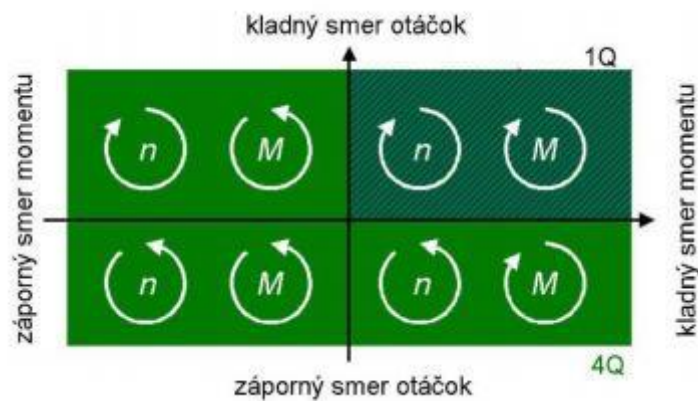
2.1 Riadený štvorkvadrantový menič

Štvorkvadrantový(4Q) menič vznikne, ak zapojíme štyri jednokvadrantové meniče do mostíkového zapojenia. Týmto spôsobom vieme jednoducho riadiť motor vo všetkých jeho režimoch.

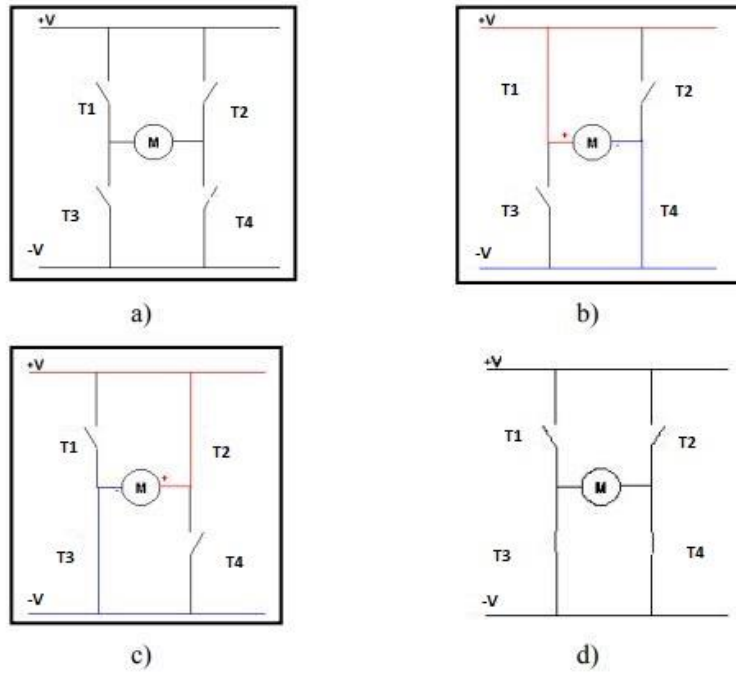
4Q menič umožňuje:

- pomocou šírkovej impulznej modulácie (PWM) meniť efektívnu hodnotu výstupného napätia
- pomocou tohto zapojenia výhradne elektricky zmeniť polaritu napätia na svorkách a teda reverzovať otáčky na motore
- časový priebeh napätia alebo prúdu môže striedavý alebo jednosmerný charakter

Nazývame ho taktiež aj H-mostík. V tomto zapojení umožňuje: meniť veľkosť, smer otáčok a brzdenie. Výhodou tohto riadenia je univerzálnosť, taktiež neobsahuje pomalé a nespoľahlivé elektromechanické prvky. V tomto zapojení je možné dosiahnuť veľmi dobré dynamické vlastnosti, ktoré sa využívajú pre robotické systémy.

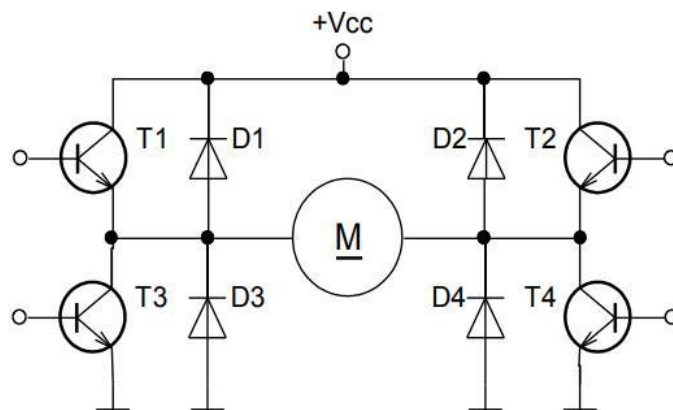


Obr. 7.2 Charakteristika 4Q pre moment a otáčky[15]



Obr. 7.3 a) 4Q usmerňovač, b) smer otáčok doprava, c) smer otáčok doľava, d) brzdenie [15]

Toto zapojenie by bolo možné použiť pre výhradne odporovú záťaž v prípade, že prúd klesne na nulu hneď s napätím na záťaži. Keďže u pohonov klesá spojito ešte nejaký čas, tak táto podmienka nie je splnená. Z toho dôvodu je nutné pridať do obvodu ďalšie prvky, konkrétne nulové diódy, aby energiu nahromadenú v indukčnosti záťaže odvedli. [3]



Obr. 8 Štvorkvadrantový usmerňovač [6]

Pri tomto zapojení je nutné vždy spínať dva spínače. Na to, aby sme docielili chod motora v jednom alebo druhom smere, tak musíme priviesť spínací signál na T1+T4 alebo T2+T3. Po vypnutí T1 a T4 sa prúd uzavrie nulovými diódami D3 a D2. Týmto diódami sa odvedie nahromadená energia v indukčnosti záťaže. Pre tranzistory T2 a T3 sú to

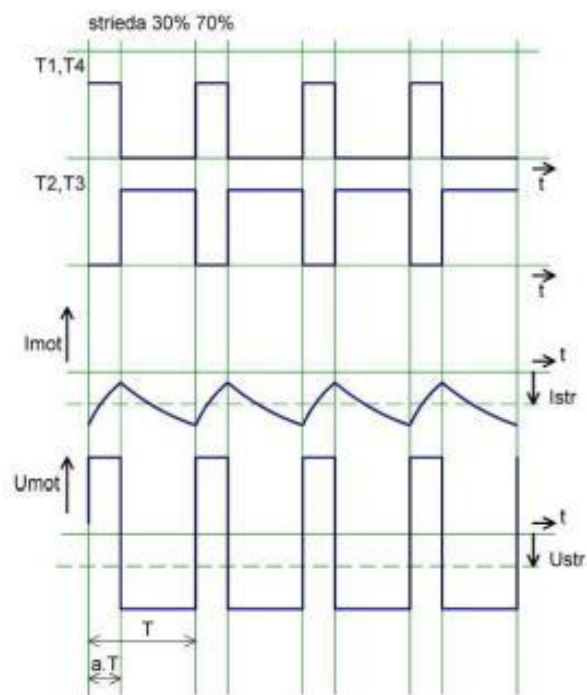
nulové diódy D1 a D4. Taktiež medzi zopnutím jednotlivej dvojice T1 + T4 alebo T2 + T3 je ochranná doba zvyčajne 1ms, ktorej cieľom je to, aby nedošlo k zapnutiu všetkých tranzistorov naraz a teda by došlo k skratu. Týmto spôsobom sa riadia zvyčajne pohony s malými výkonmi.

2.2 Riadenie štvorkvadrantového meniča

Riadenie delíme podľa metódy spínania ventilov:

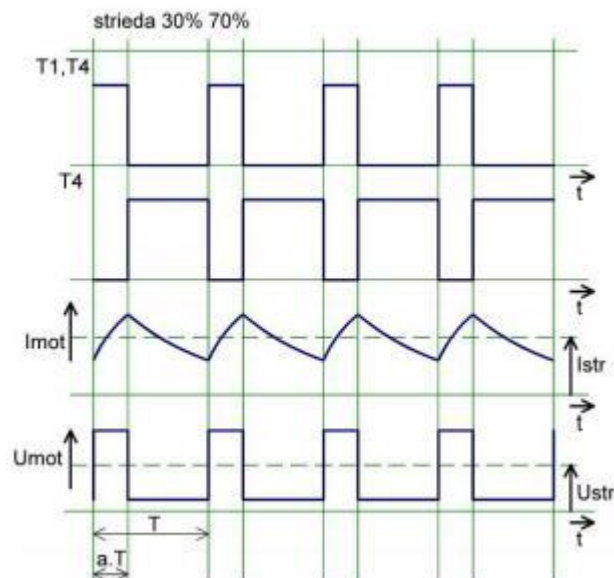
- bipolárne riadenie (symetrická metóda)
- unipolárne riadenie (nesymetrické riadenie)
- postupná metóda

Bipolárne riadenie je najjednoduchšie. Princíp tejto metódy spočíva v tom, že sa riadia všetky ventily meniča a na kotvu prichádzajú impulzy, ktoré majú premenlivú polaritu. Dĺžka impulzov je riadená pomocou riadiacich signálov.



Obr.9 Bipolárne riadenie [5]

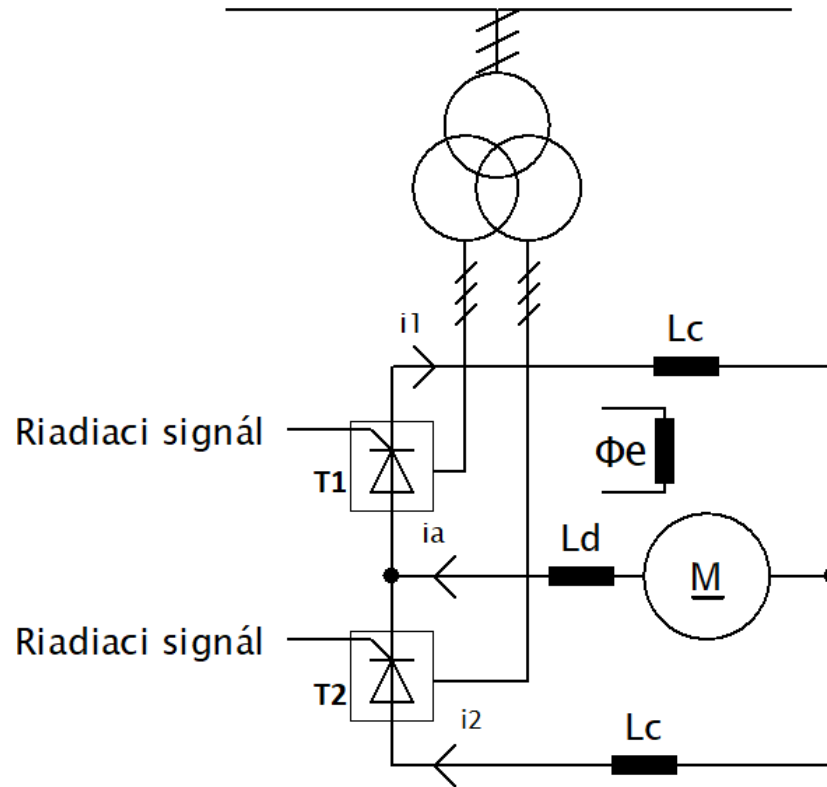
Unipolárne riadenie má nevýhodu v tom, že má obťažnejšie riadenie pri spínaní tranzistorov, pretože v jednom cykle sa všetky nevystriedajú. Kvôli tomu je nutné prispôbiť aj budiče spínacích prvkov. V prvom cykle sa zopne tranzistor T1 + T4 a v druhom T4 ostane zapnutý a T1 sa vypne. Prúd sa teda uzavrie cez diódu D2 – motor – tranzistor T4. [5]



Obr. 9.1 Unipolárne riadenie [15]

2.3 Reverzný tyristorový usmerňovač

V našej aplikácii je pravdepodobne použitý tyristorový menič s nasledujúcou schémou – Obr. 9.2, keďže reálna schéma je vlastníctvom výrobcu. Na vytvorenie štvorkvadrantového pohonu je nutné zapojiť dva usmerňovače antiparalérne, čím vytvoríme napájací zdroj so schopnosťou pracovať s oboma polaritami prúdu a napätia. Takýto jednosmerný zdroj sa nazýva reverzný usmerňovač, ktorý môže pracovať bez okruhových prúdov, ale aj s nimi. Základná schéma tohto usmerňovača je na Obr. 9.2, ktorú tvoria 2 trojfázové mostíky. Pre kladné otáčky predpokladáme, že menič T1 pracuje ako usmerňovač a napája jednosmerný motor. Napätie T2 meniča má byť teda také, aby ním neprechádzal prúd, ktorý by sa následne uzavrel medzi T1 a T2. Stredné hodnoty usmerných napätí oboch usmerňovačov bude rovnaké a bude to pôsobiť proti sebe. Indukované napätie na motore sa zníži o ohmické straty. Prúd potečie usmerňovačom T1 a motorom. Pri znížení riadiaceho uhlu sa zníži napätie U_{T1} a U_{T2} pod indukované napätie motora. Prevalha indukovaného napätia vytvorí prúd obrátenej polarity, ktorý sa uzavrie usmerňovačom T2 a dostane sa do invertorového režimu. Samotný motor teda prešiel do generátorického režimu s pôvodnou polaritou napätia s obrátenou polaritou prúdu. Vznikol teda štvorkvadrantový pohon s vysokou dynamikou. [3]



Obr.9.2 Reverzný tyristorový usmerňovač

3. Popis pracoviska

Samotné pracovisko sa skladá z jednosmerného motora. Následne tu máme SINAMICS DC Master od firmy Siemens. Ide o jednosmerný menič vhodný na rôzne riadiace aplikácie od 6,3 kW až do 30 MW. Ďalšou súčasťou je osobný počítač so softwarom STARTER, ktorý slúži na riadenie, nastavovanie parametrov, ale aj na sledovanie priebehov jednotlivých veličín.

3.1 Jednosmerný motor

Použili sme jednosmerný motor od firmy Reliance Electric Company s nasledujúcimi charakteristickými hodnotami.

FR	C1811ATZ	HP	5	DUTY	CONT
ENCL:	DP	RPM	1750/2300	S.F.	1.0
ENCL.MOD:	GUARDED	VOLTS	240	INSUL.	F
MAX.SAFE SPEED	5000	AMP	19.2	AMB.	40°C
FIELD DATA		IDENT NO.	1KSX03076-SR		
Winding	STAB SHUNT	POWER CODE	D-50/60		
VOLTS	150	DRIVE END BEARING	40BC02J30X		
MAX. AMPS 25°C	1.77	OPP. D.E. BEARING	30BC02J30X		
HOT AMPS	1.26/0.66	MIN.AMB	0°C	TYPE	TR

Tabuľka 1 Štítkové hodnoty motora

3.2 SINAMICS DC Master

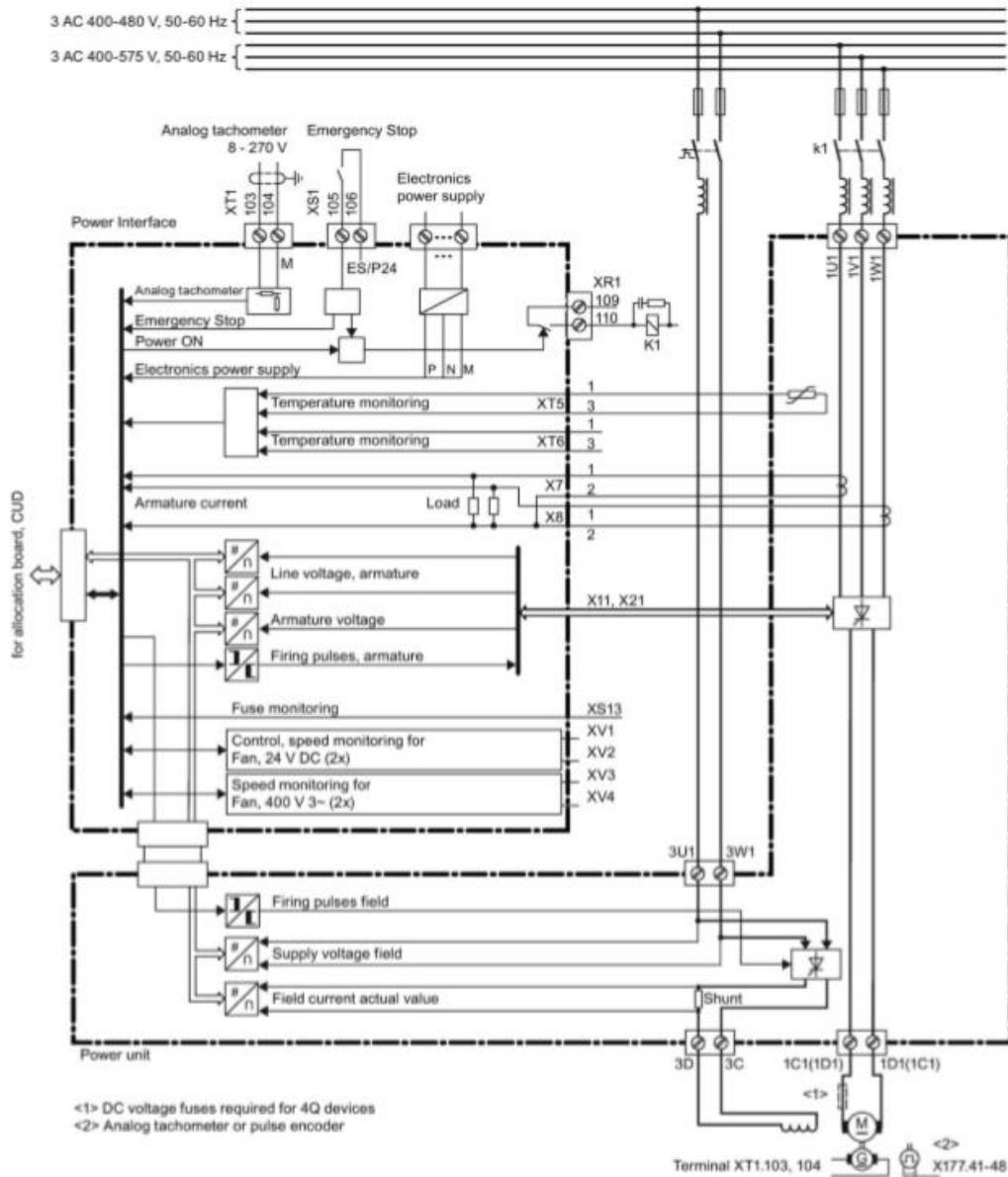
DC Master je škálovateľný riadiaci systém na základné, ale aj sofistikovanejšie aplikácie. DCM kombinuje otvorené a uzavreté smyčky na riadenie. Umožňuje 2Q – dvojkvadrantové riadenie aj 4Q – štvorkvadrantové. Medzi typické aplikácie patrí navíjačka, valcovacia stolica, ale aj výťah, žeriav alebo posuvný pás. Je vybavený kontrolným panelom BOP20, ktorým je možné meniť parametre priamo na mieste bez nutnosti ďalších zariadení.



Obr.10 BOP20 Operátorský panel

Keďže náš motor sa nachádza v rozmedzí 15 až 30 A, tak z manuálu si zvolíme vhodné zapojenie. Schéma na sieťové zapojenie do 3 fázovej siete 400 V, 50 Hz pre zariadenia od 15 A do 30 A.

15 to 30 A devices



Obr. 11 Silová schéma pre zariadenia od 15 do 30 A [8]

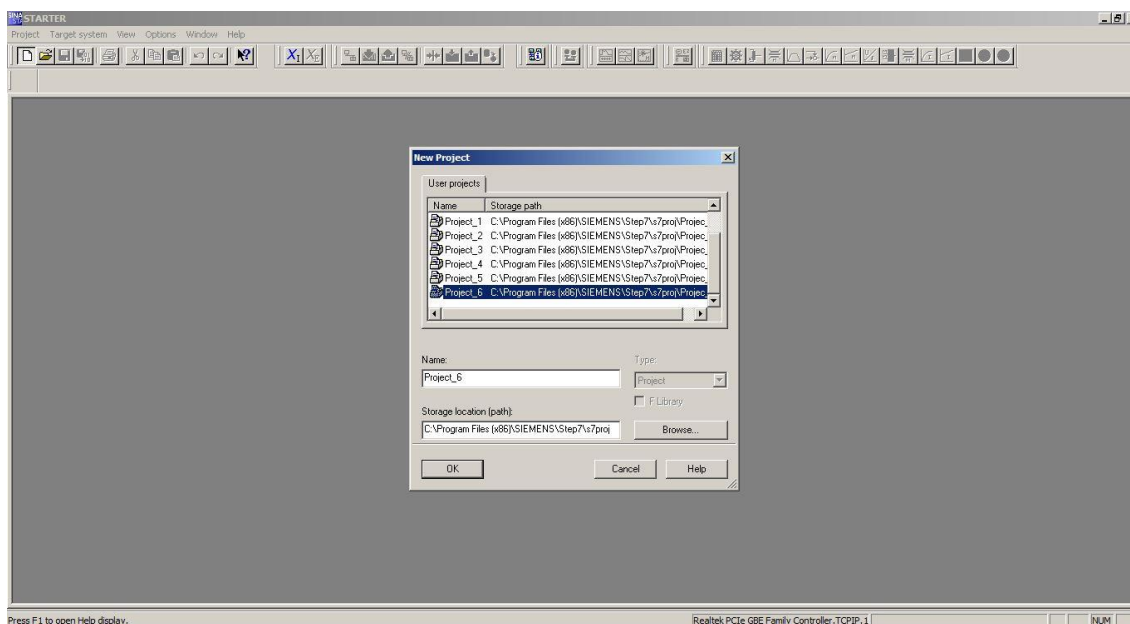
Elektroniku napájame pomocou 1 fáze zo siete. Minimálne napájanie je 24 V DC.

3.3 Software Siemens STARTER

STARTER je softwarový nástroj na uvedenie hardwaru do prevádzky od spoločnosti Siemens. Tento nástroj dokáže v základe ovládať celú SINAMICS aj MICROMASTER triedu. Po doinštalovaní doplnkov ako napr. SIZER, nástroj na jednoduchšiu a názornejšiu konfiguráciu pohonov. Bohužiaľ ho nie je možné použiť pre náš DC Master. STARTER umožňuje modifikáciu parametrov, spustenie, riešenie problémov a dokáže upozorniť na nutnosť servisu. Ďalej dokáže vykonať optimalizáciu, kde zistí odpor a indukčnosť budiaceho vinutia, ale aj kotvy. Program ponúka grafické rozhranie na názornejšiu a jednoduchšiu konfiguráciu. Zabezpečí to teda jasný prehľad a jednoduché ovládanie. Ďalšia z výhod je možnosť zaznamenávania priebehov jednotlivých parametrov – prúd, napätie, moment, výkon a mnoho ďalších parametrov.

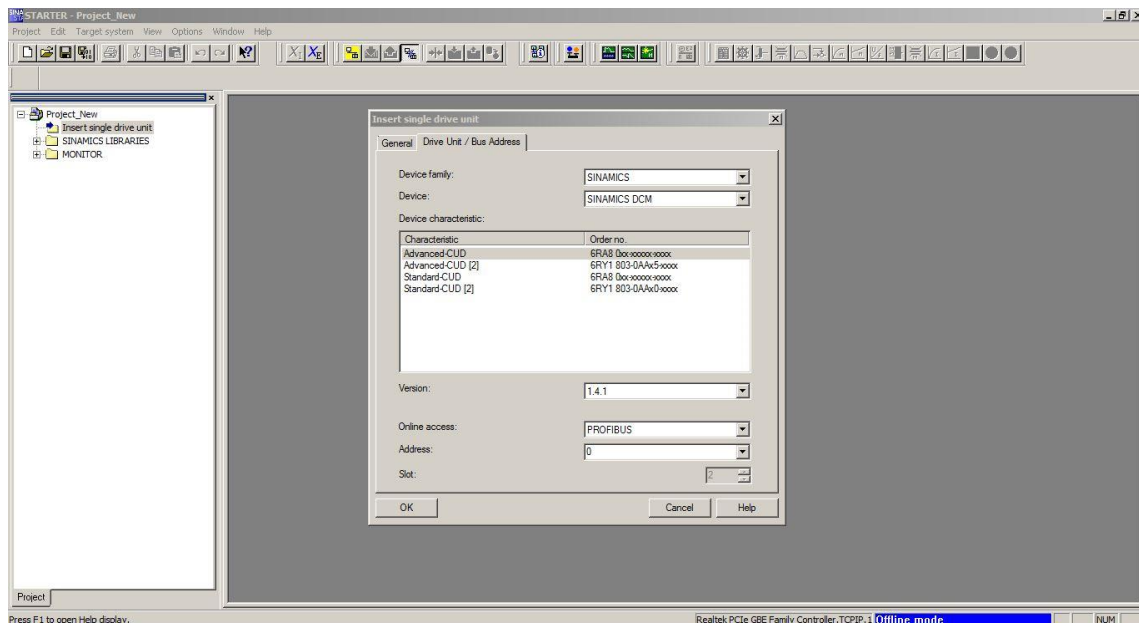
3.4 Popis prepojenia DCM meniča a SW STARTER

Fyzické prepojenie je zabezpečené pomocou prepojenia PROFINET. Je to priemyselná komunikačná zbernica vystavaná na základoch priemyselného ethernetu. Určená je na riadiace systémy v automatizácii a využívaná čoraz viac v priemysle. Po prepojení meniča DCM cez konektory na vrchnej strane – CBO20 a počítača, je potrebné zistiť cez sieťovú kartu, či je zariadenie detekované v počítači. Následne spustíme program STARTER a môžeme začať so základnou konfiguráciou.



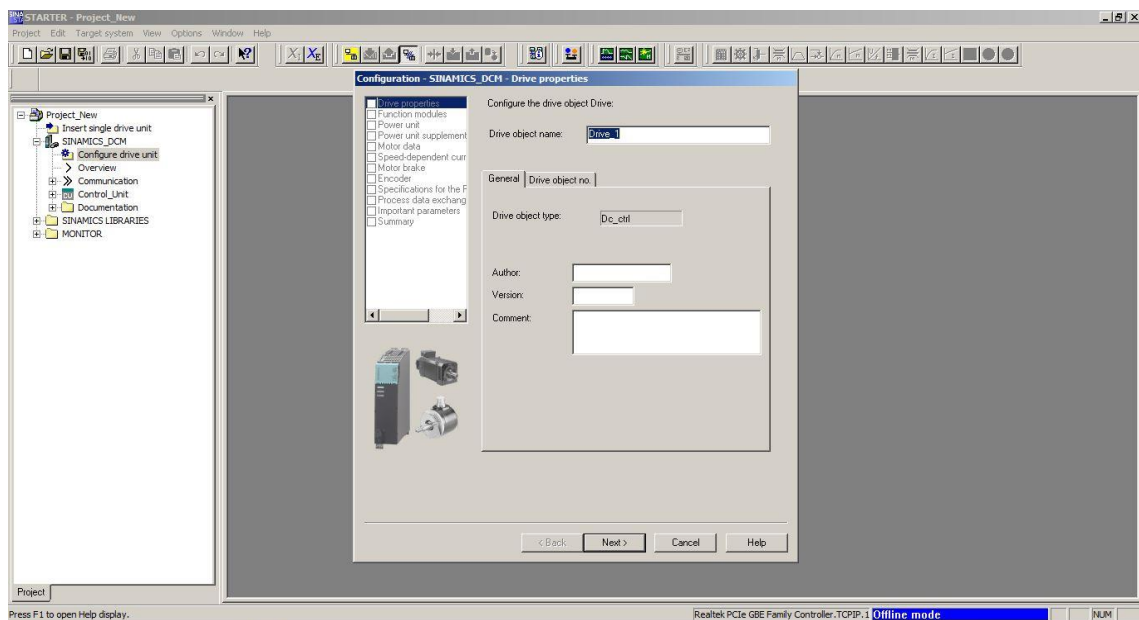
Obr. 12 Založenie projektu v STARTER-i

Po otvorení programu vytvoríme „New Project“. Po vytvorení nového projektu je nutné zvoliť možnosť „Insert single drive unit“, kde následne zvolíme základnú parametrizáciu vzhľadom k nášmu meniču a motoru.



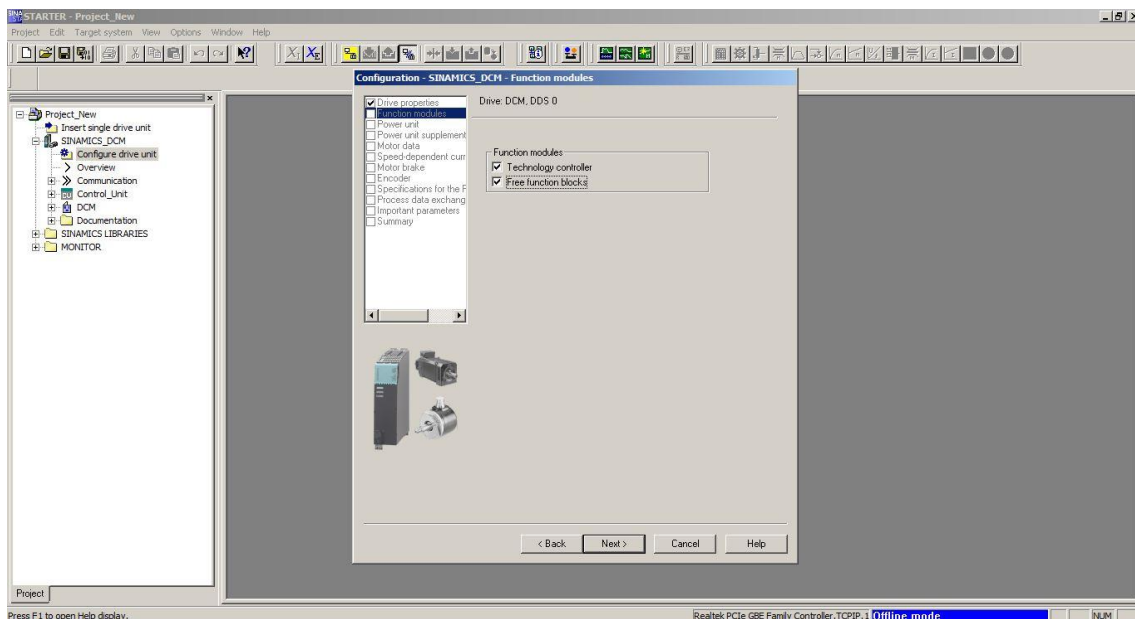
Obr. 12.1 Vloženie riadiacej jednotky

V device family zvolíme „Sinamics“ a device „Sinamics DCM“. Následne zvolíme „Advanced-CUD“ a odsúhlasíme to. Vo vertikálnom okne sa nám naskytné možnosť *SINAMICS DCM* a podmožnosť *Configure drive unit*. Zvolíme ju a vyskočí nám konfiguračné okno. V prvom okne zadáme názov pohonu a prideliť mu číslo, pretože zariadení môže byť viac.



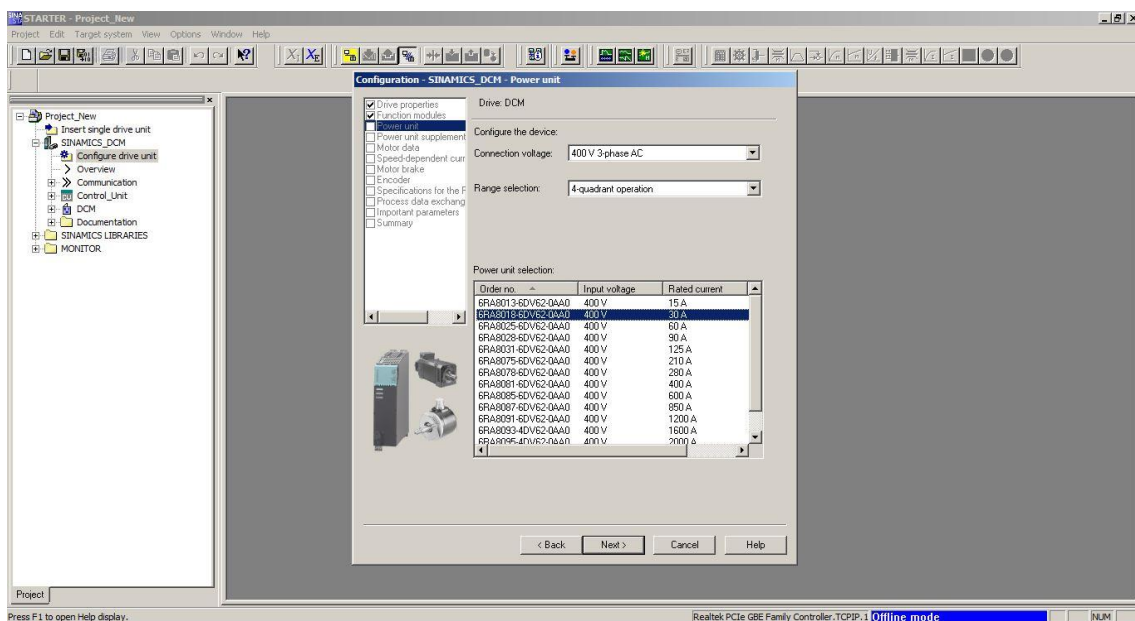
Obr. 12.2 Nastavenie vlastností pohonu

V ďalšom okne sa dostaneme k možnostiam k funkčným modulom, kde zaškrtneme nami požadované moduly.



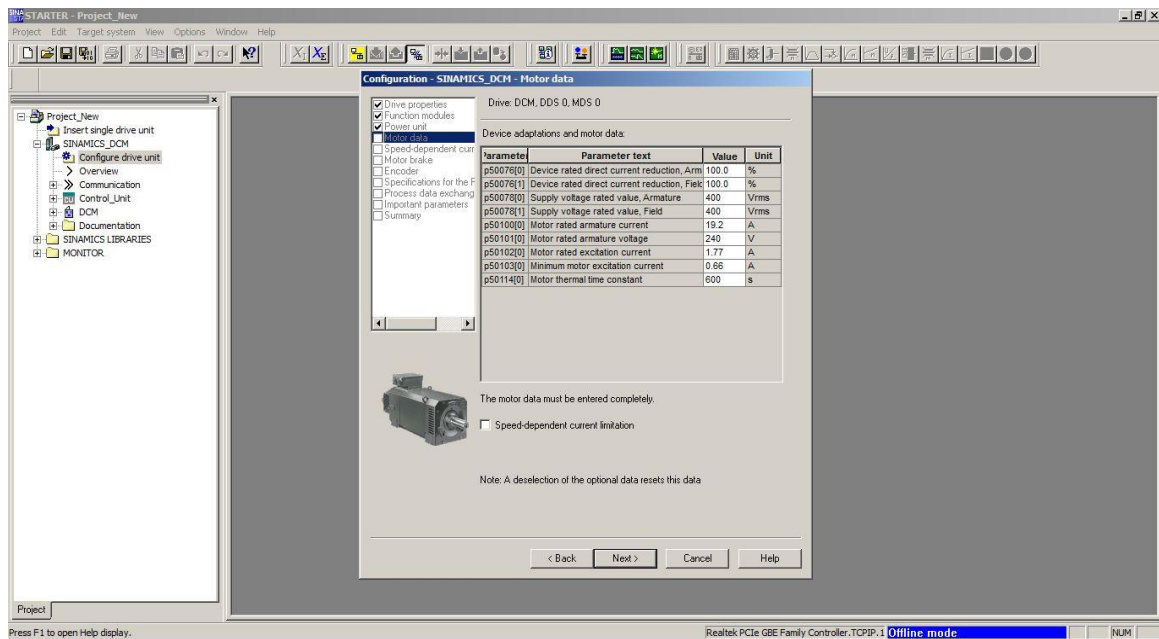
Obr. 12.3 Nastavenie funkčných modulov

Nasledujúca možnosť ponúka výber napájacej jednotky. V našom prípade je to 3-fázových 400 V pre 4-kvadrantové riadenie s menovitým prúdom do 30 A. Túto možnosť je vhodné overiť aj cez *Order no.*, ktoré nájdeme na čelnej strane meniča.



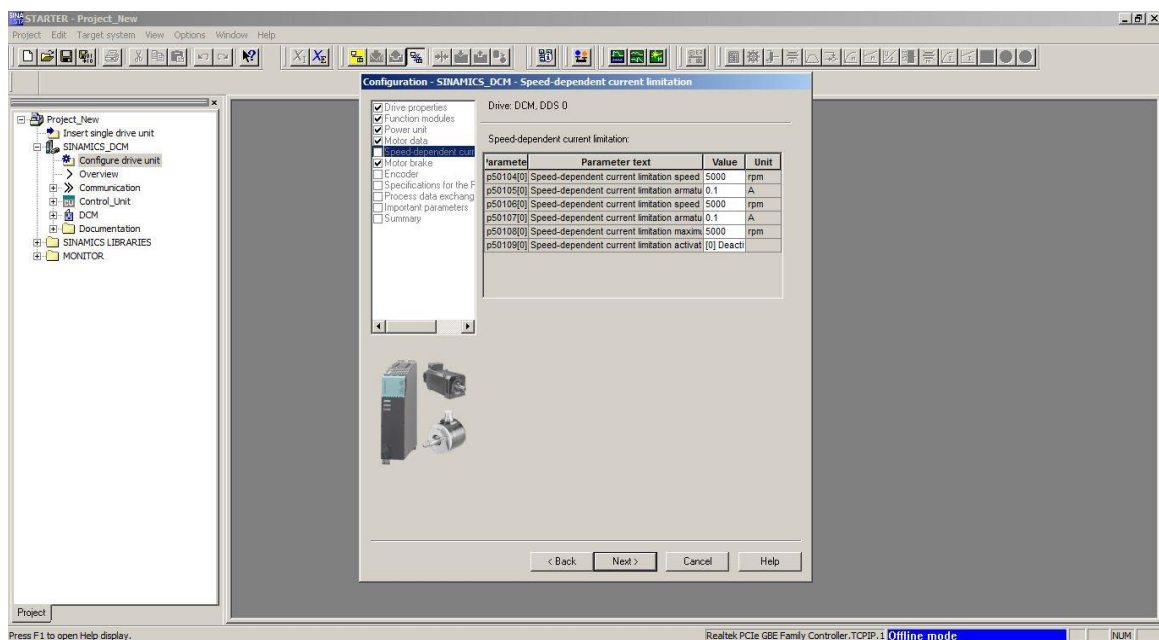
Obr. 12.4 Výber napájacej jednotky

Ďalšie okno ponúka nastavenie motora. Tieto hodnoty nastavíme na základe štítkových hodnôt, ktoré nájdeme na motore. Bez týchto parametrov motor neroztočíme, pretože sa jedná o povinné parametre.



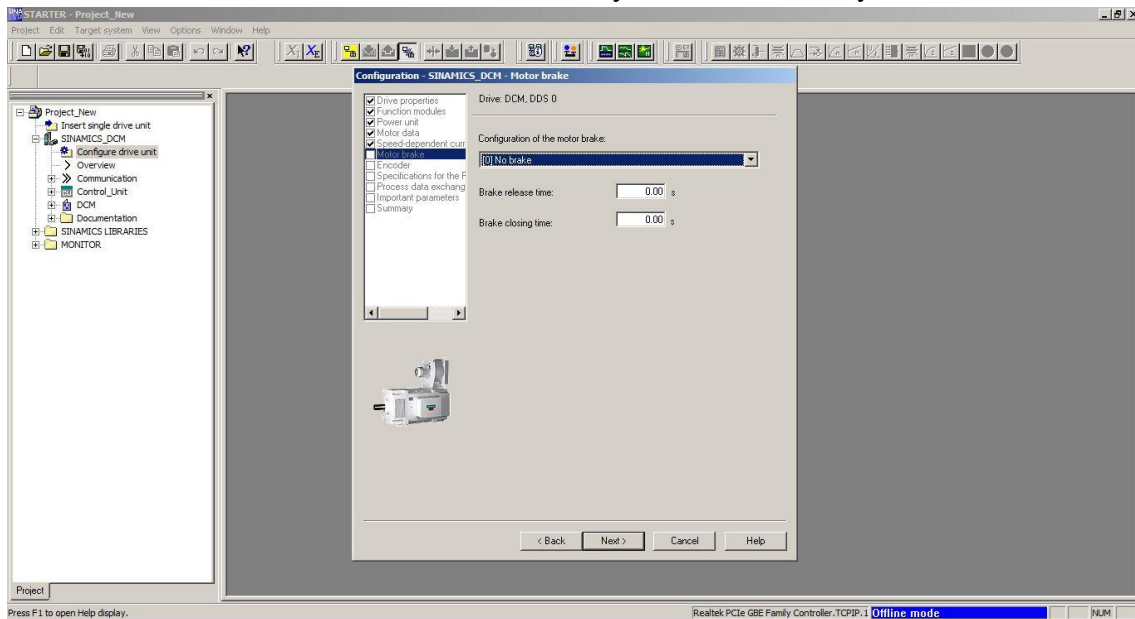
Obr. 12.5 Nastavenie štítkových hodnôt motora

Po zaškrtnutí voliteľnej možnosti *Speed-dependent current limitation* sa nám objaví okno s jednotlivými limitmi pre rýchlosť a prúd kotvou.



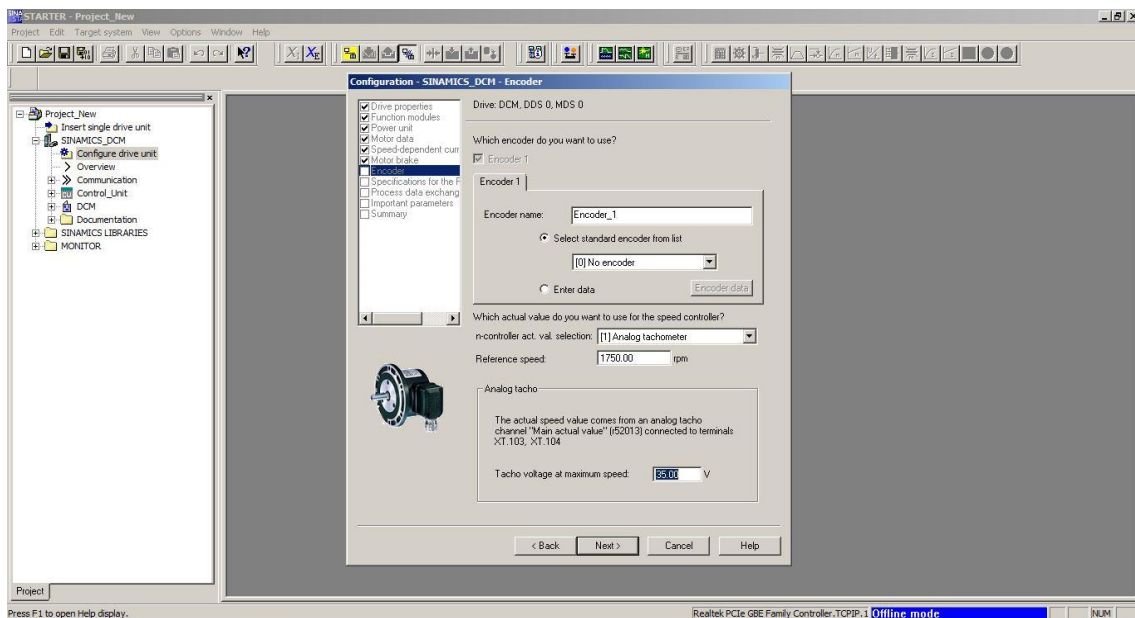
Obr. 12.6 Nastavenie prúdového obmedzenia závislom na rýchlosti

V ďalšom kroku môžeme zapnúť a nastaviť elektrickú brzdu. Taktiež sú tu možnosti na nastavenie času na uvoľnenie brzdy a zatvorenia brzdy.



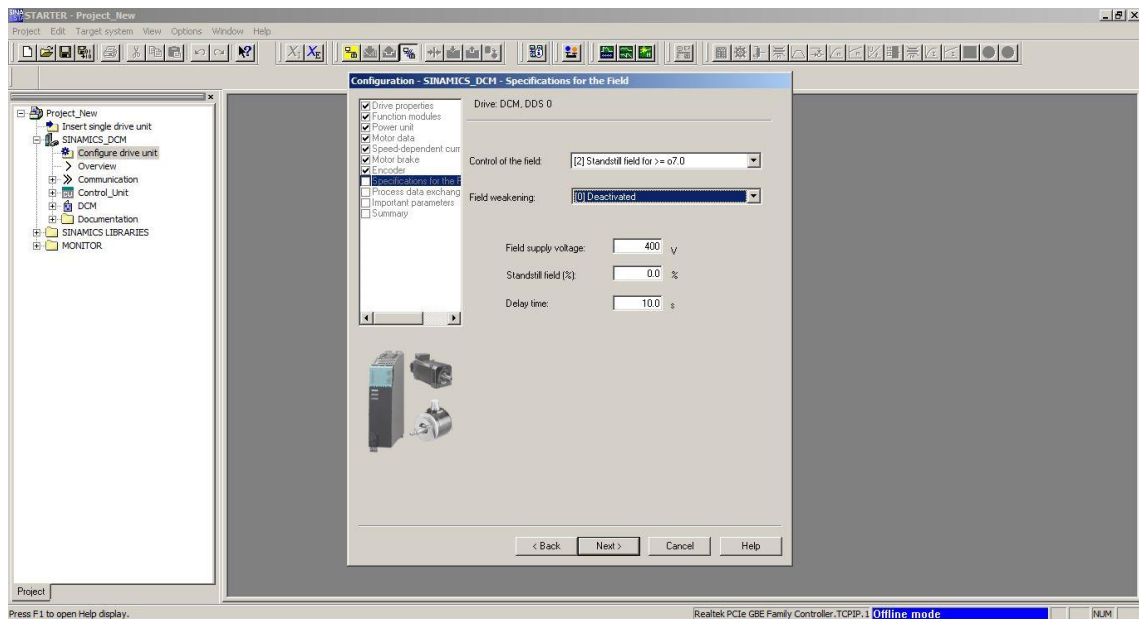
Obr. 12.7 Nastavenie motorovej brzdy

Nasledujúca možnosť sa zaoberá enkodérmi. Môžeme si tu nastaviť názov a taktiež základné dáta enkodéra. My si zvolíme analógový tachometer, ktorý máme fyzicky pripojený na hriadeľ motora a jeho výstup je pripojený na svorky meniča na určené, podľa schémy. Referenčný prevod analógového tachometra 1000 ot./min⁻¹ predstavuje 20 V. Pre naše menovité otáčky 1750 ot./min⁻¹ to vychádza 35 V.



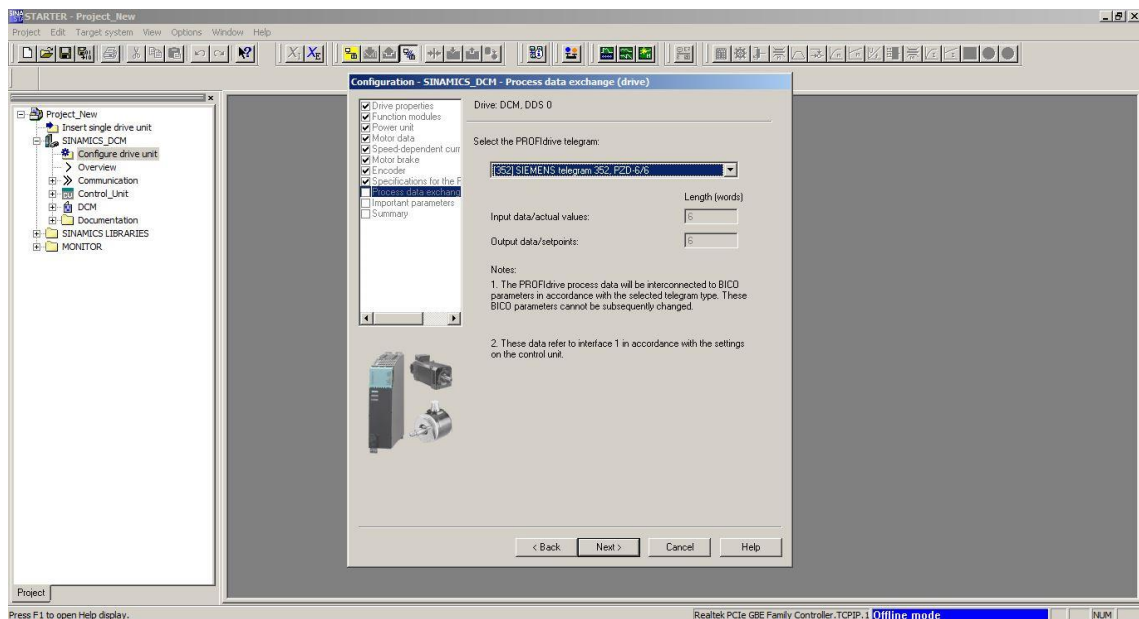
Obr. 12.8 Nastavenie enkodérov a analógového tachometra

Ďalej sme sa dostali k špecifikáciám budiaceho poľa. V tejto možno si nastavíme typ ovládania poľa a popripade odbudzovanie.



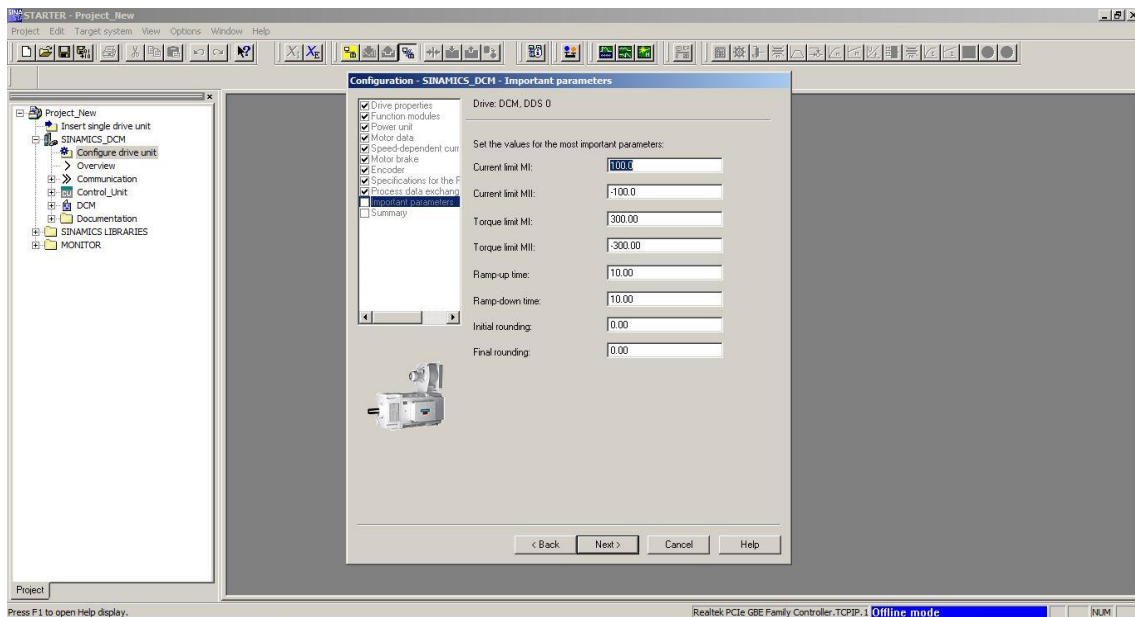
Obr. 12.9 Nastavenie budiaceho poľa

Nasledujúci krok sa zaoberá nastavením *PROFIdrive* telegramu, ktorý slúži na komunikáciu medzi zariadeniami. My si môžeme zvoliť napr. *Siemens telegram 352, PZD 6/6*. Dĺžka vstupov aj výstupov je prenos 6 vstupov a 6 výstupov.



Obr. 12.10 Nastavenie výmeny procesných dát - telegramy

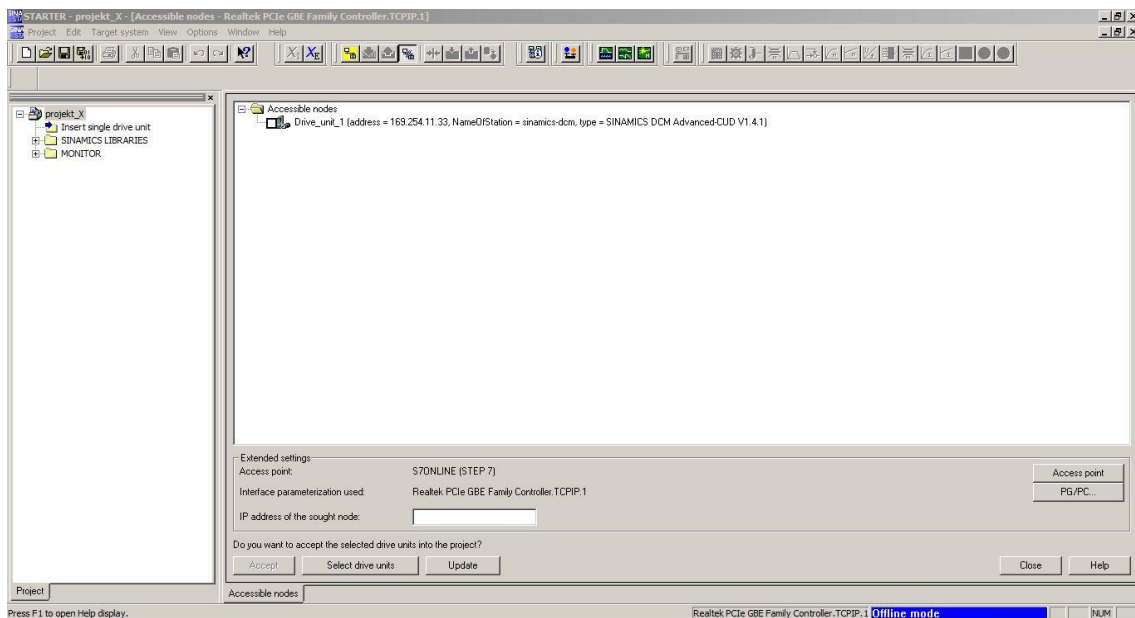
V ďalšej možnosti si nastavíme jednotlivé limity na prúd a moment v jednotlivých kvadrantoch.



Obr. 12.11 Nastavenie prúdových a momentových limitov

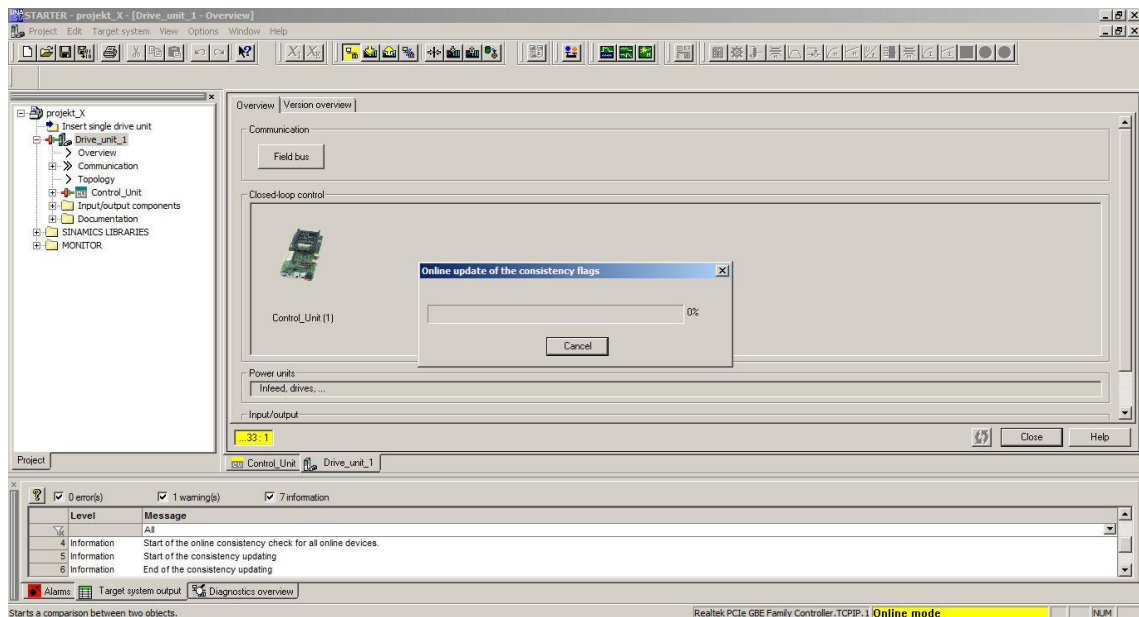
V ďalšom okne je len zhrnutie parametrov, ktoré sme si nastavili. Po odsúhlasení môžeme postupovať ďalej.

Po základnej parametrizácii sa pokúsime dostať do Online módu cez „Accessible nodes“, kde naviažeme spojenie medzi DCM a PC.



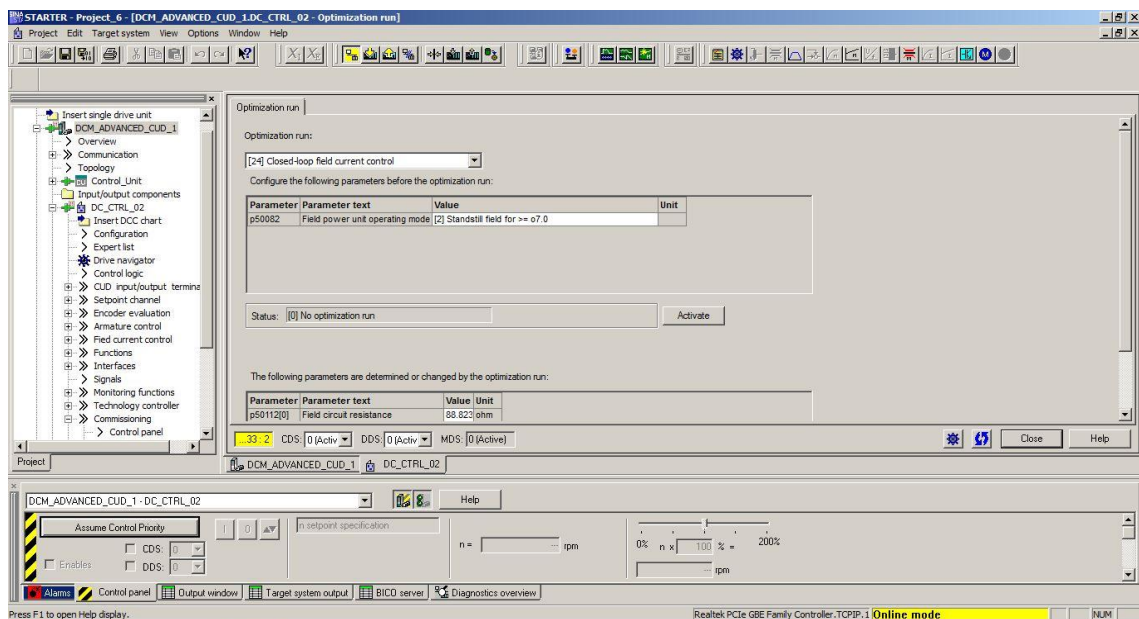
Obr. 12.12 Detekcia zariadení v sieti

Po detekcii, zvolíme naše DCM a zvolíme „Accept“. Tým sa nám do bočnej lišty pripojí *Drive_Unit*. Potom pravým tlačidlom zvolí na *Drive_unit* a zvolíme „Connect to target device“.



Obr. 12.13 Pripojenie k zariadeniu a prechod do Online módu

Po úspešnom nadviazaní spojenia vyhladáme v možnostiach v ľavom okne možnosť „Commissioning“, kde prejdeme na „Optimization run“. Touto možnosťou si menič zistí meraním odpor a indukčnosť budiaceho vinutia a kotvy.



Obr. 12.14 Automatické určenie parametrov vinutí

Najprv zvolíme možnosť „Closed-loop field current control“ – tým zistí indukčnosť a odpor budenia. Aktivujeme danú možnosť. Potom prejdeme na „Assume Control Priority“ a následne cez zelené tlačidlo „I“ to spustíme. V tom momente pošle menovitý prúd budenia do vinutia budenia. Obdobné je to pre kotvu, keď zvolíme možnosť „Closed-loop armature current control“. Hodnoty, ktoré nám určil DC Master sú nasledovné:

Parameter	Parameter text	Value	Unit
p50112[0]	Field circuit resistance	88.823	ohm
p50116[0]	Field circuit inductance	35103.	mH
p50255[0]	Field current controller P gain	2.36	
p50256[0]	Field current controller integral time	0.079	s
p51597[0]	Field inductance reduction factor	10	%

Parameter	Parameter text	Value	Unit
p50110[0]	Armature circuit resistance	1.613	ohm
p50111[0]	Armature circuit inductance	27.965	mH
p51591[0]	Armature inductance reduction factor	70	%
p50155[0]	Closed-loop armature current control P gain	0.11	
p50156[0]	Closed-loop armature current control integral time	0.021	s

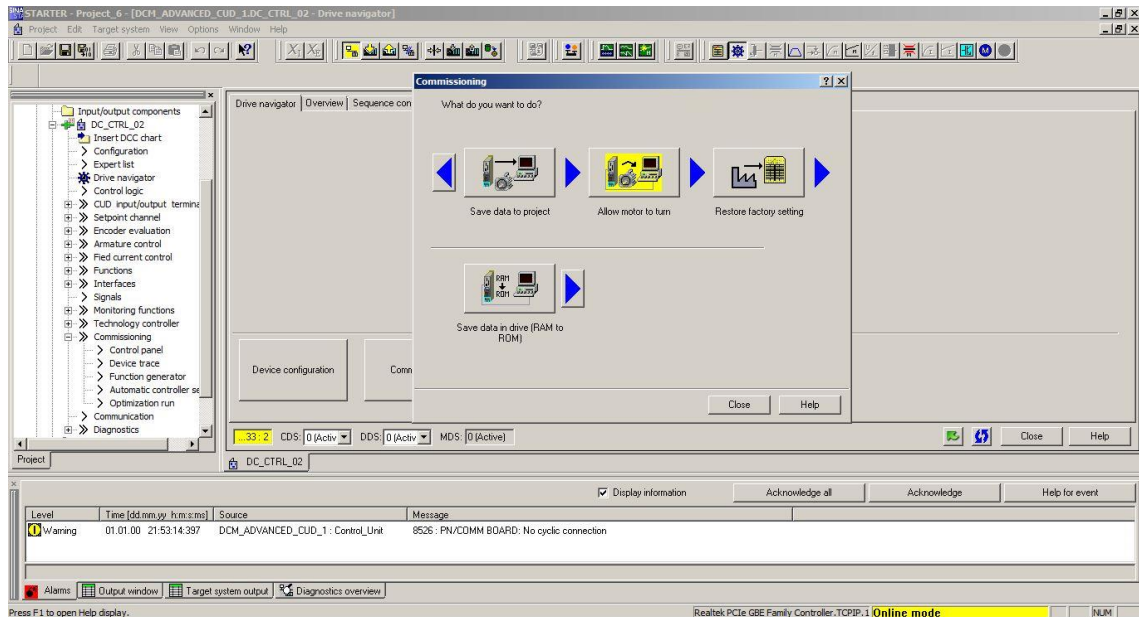
Obr. 12.15 Detekované vlastnosti jednotlivých vinutí

Zároveň po nameraní automaticky prepíše dané parametre.

Následne vyberieme možnosť „Expert list“, kde nastavujeme všetky parametre a v podstate celý menič. Tieto parametre je možné nastaviť v tejto možnosti, ale aj v iných grafických rozhraniach pri jednotlivých možnostiach.

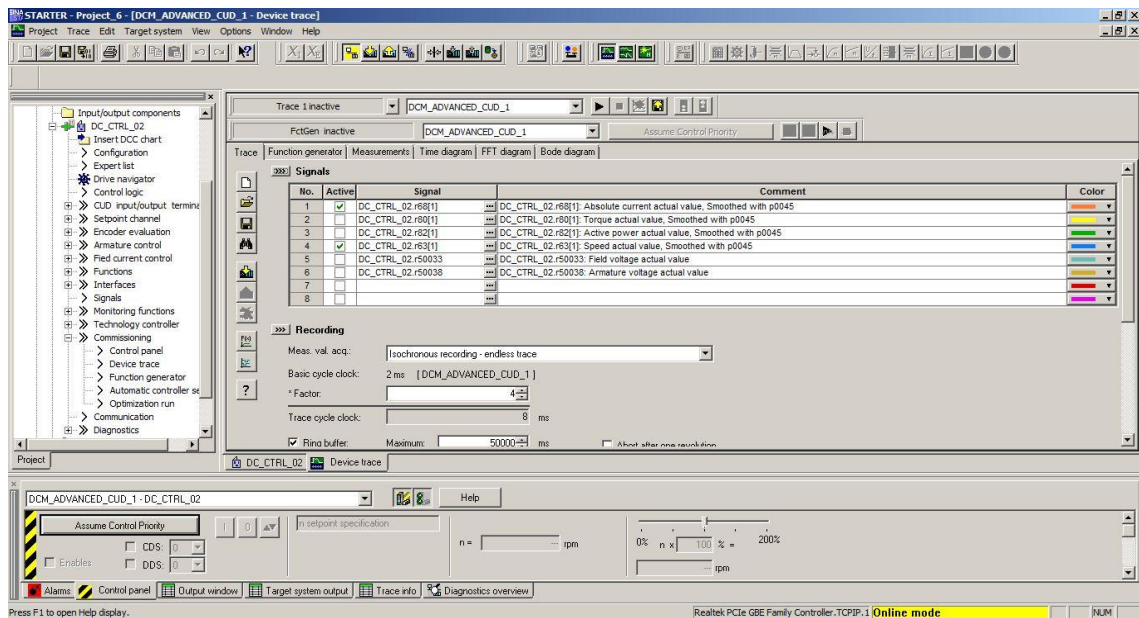
Obr. 12.16 Expert list – nastavenie parametrov riadiacej jednotky/pohonu

Po nastavení všetkých parametrov podľa cieľovej aplikácie nášho meniča môžeme spustiť motor cez menič.



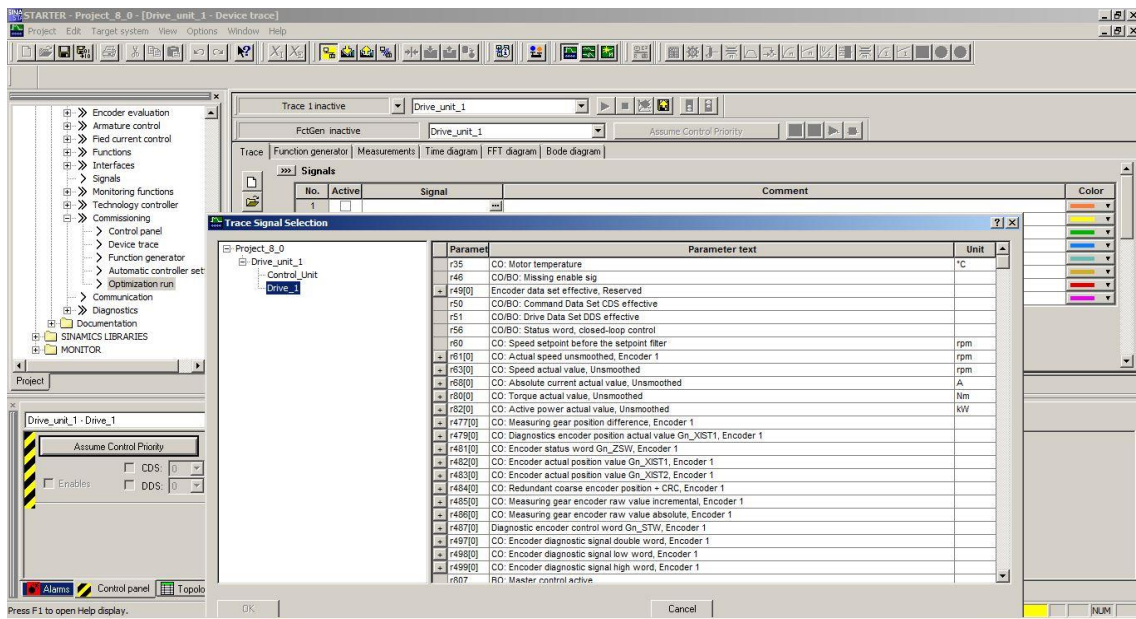
Obr. 12.17 Control panel - Spúšťanie motora

Klikneme na „Allow motor to run“. Potom na „Assume Control Priority“ a môžeme zadať požadovanú hodnotu RPM a následne to cez zelené tlačidlo „I“ spustiť. Jednou z možností STARTER-u je záznam priebehov podľa zvolených parametrov. Túto možnosť spustíme cez možnosť „Device trace“, ktorá sa nachádza v horizontálnej lište. Nabehne nám takéto okno:



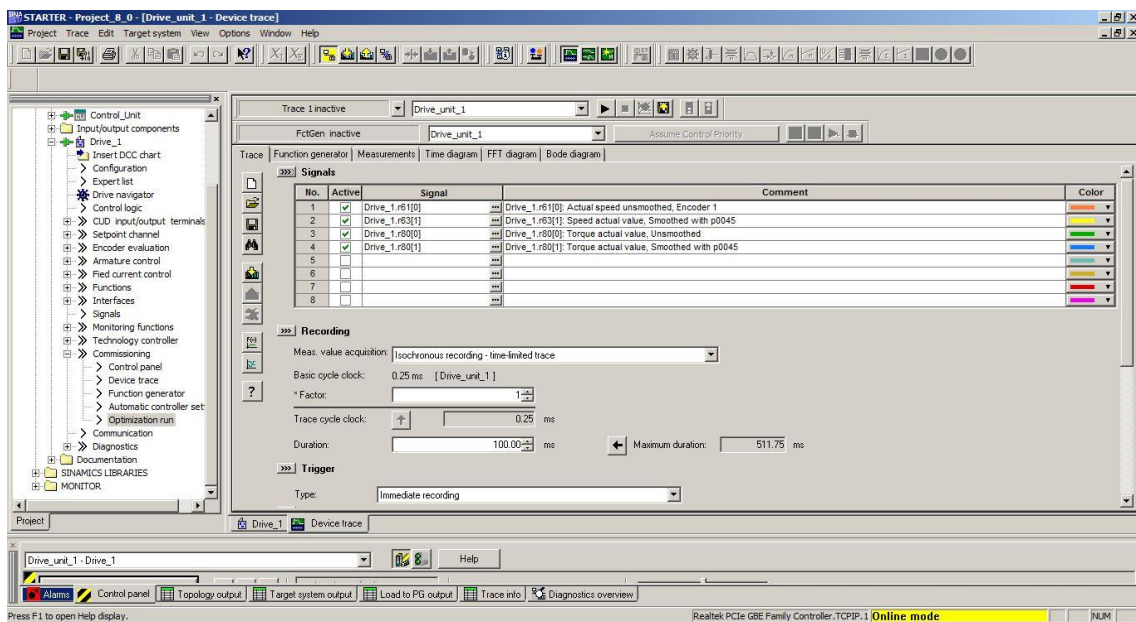
Obr. 12.18 Nastavenie sledovaných parametrov

Tu si do signálov vyberieme čo chceme sledovať z príslušného zoznamu parametrov.

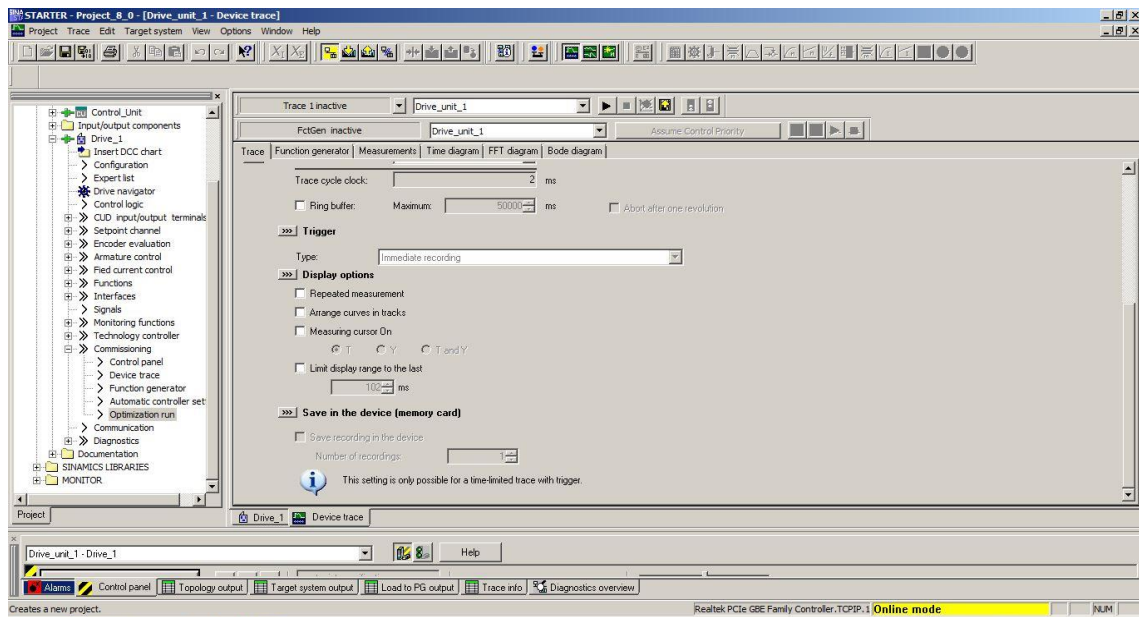


Obr. 12.19 Time trace - výber sledovaných parametrov

Taktiež tu môžeme nastaviť možnosti nahrávania ako napr. moment začiatku nahrávania, dĺžku nahrávania a mnohé ďalšie modifikácie.

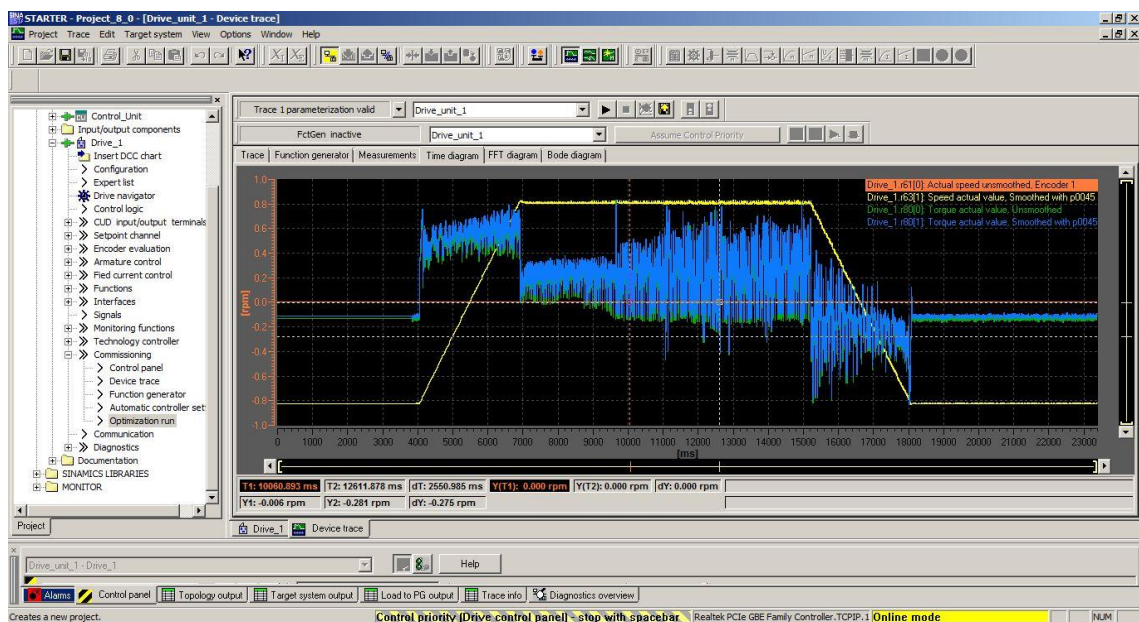


Obr. 12.20 Time trace – možnosti nahrávania



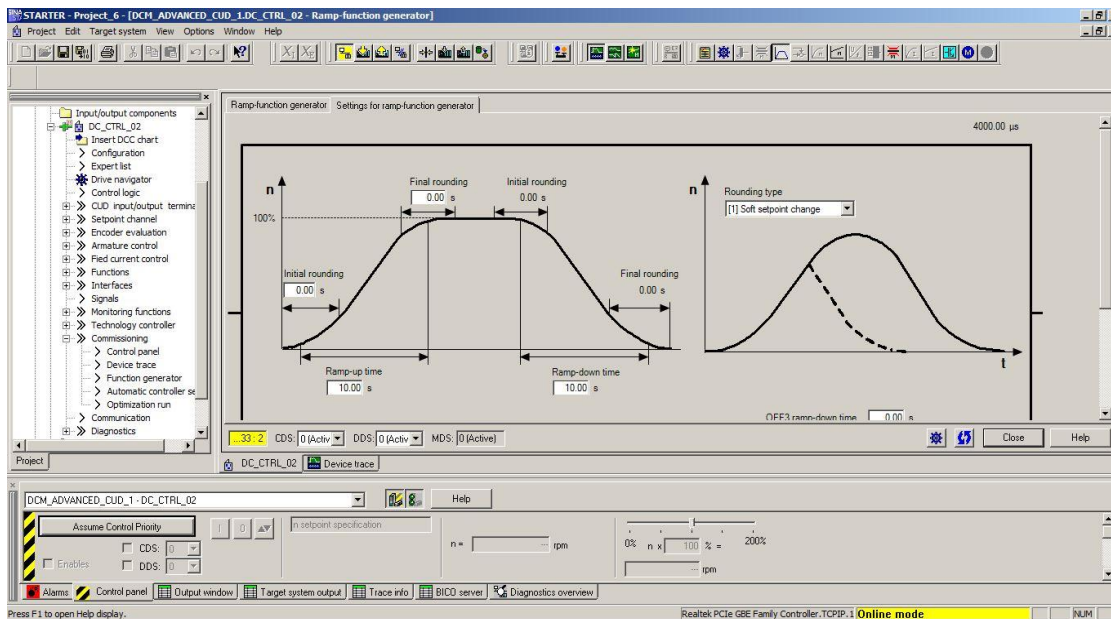
Obr. 12.21 Time trace – nastavenie „trigger“-u

Potom prejdeme do „Time diagram“, spustíme zaznamenávanie a spustíme motor. Podľa nami nastaveného „Trigger“-u sa záznam spustí hneď alebo na základe nejakej udalosti.



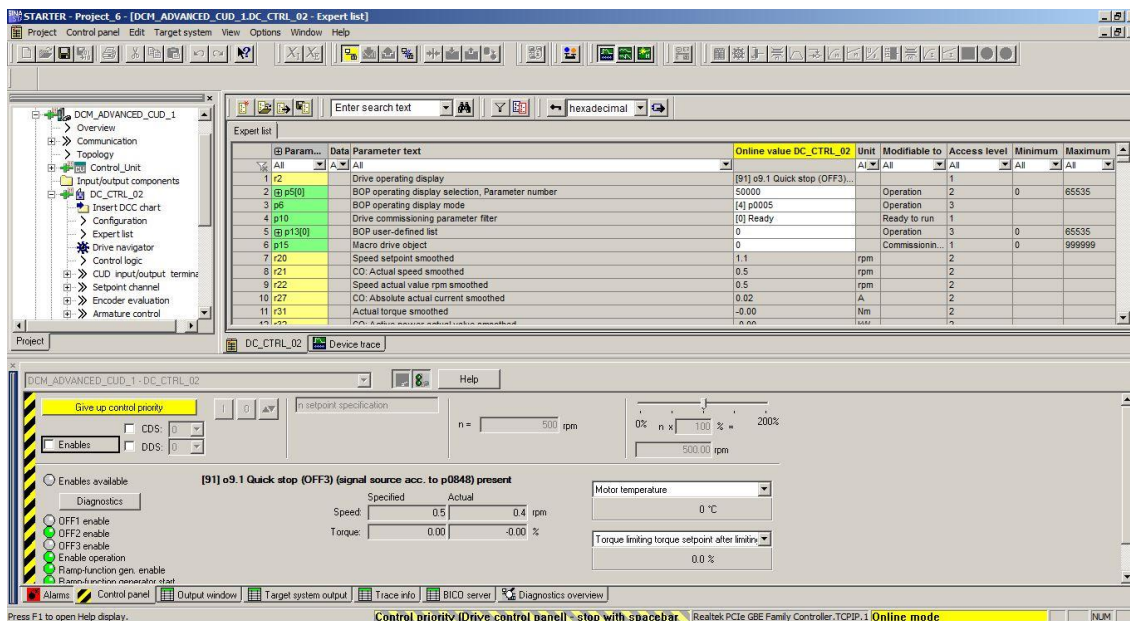
Obr. 12.22 Time trace – zaznamenaný priebeh a meranie pomocou kurzorov

Jedna z možností parametrizácie je nastavenie Ramp-up and Ramp-down času.



Obr. 12.23 Nastavenie času Ramp-up a Ramp-down

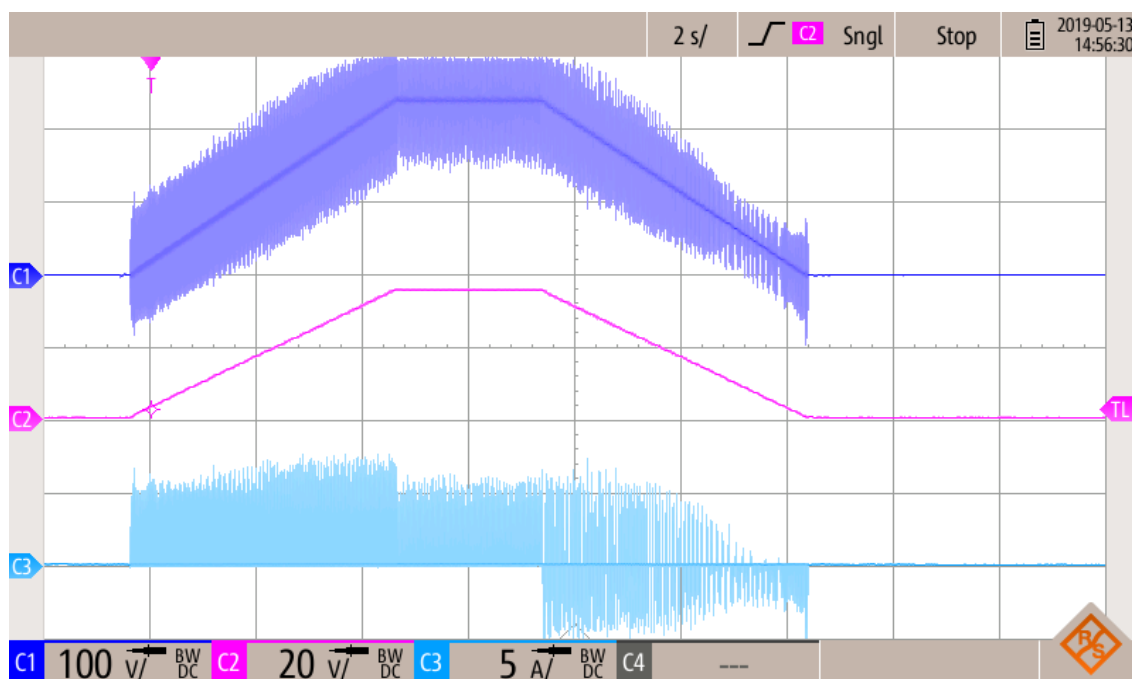
V tomto grafickom okne si nastavíme jednotlivé časy na príslušné rampy, ale taktiež je možné tieto hodnoty nastaviť už v „Expert list“-e, poprípade v počiatkovej inicializácii.



Obr. 12.24 Control panel a veličiny v reálnom čase

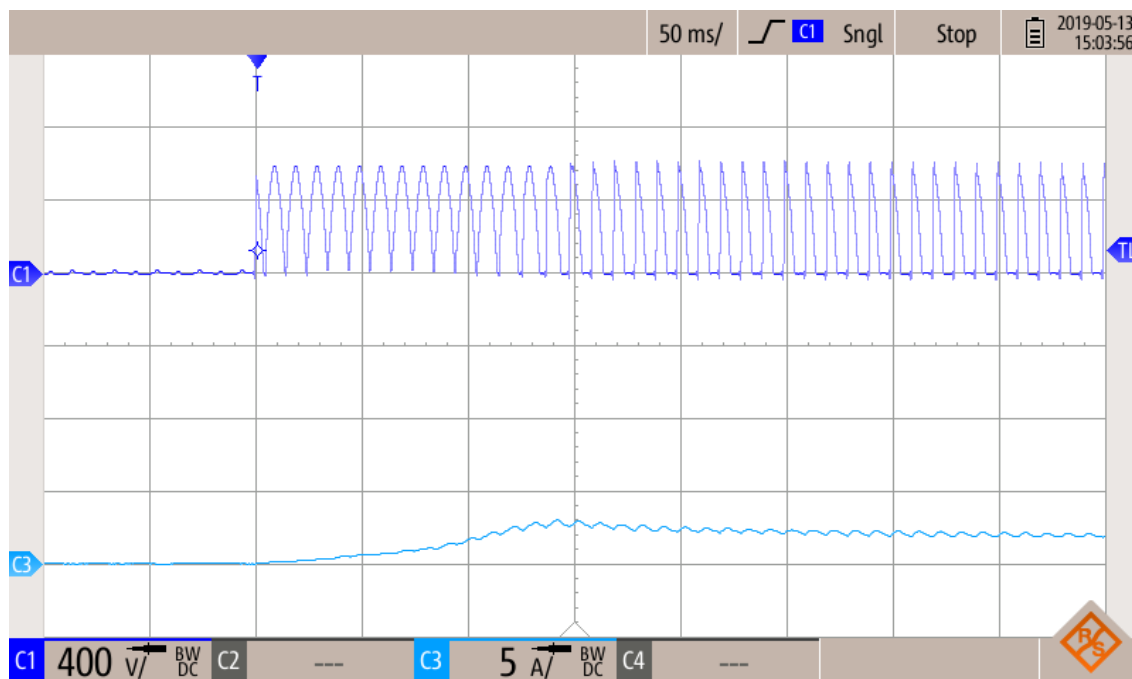
Po základnej konfigurácii a spustení v „Control Panel“-i môžeme vidieť aktuálne hodnoty rýchlosti a momentu. Taktiež je tu možnosť prepínania DDS – Drive data set. Je to možnosť prepínania dopredu pripravených konfigurácií, čím dokážeme prepínať medzi jednotlivými aplikáciami.

Na Obr.12.25 máme ukážku reálne nameraných hodnôt osciloskopom. Zaznamenali sme napätie na kotve, otáčky a prúd kotvou.



Obr. 12.25 Osciloskop – priebeh napätia a prúdu na kotve a priebeh otáčok

Na kanáli „C1“ je priebeh napätia na kotve, kanál „C2“ predstavuje napätie na analógovom tachometre, kde 20 V predstavuje 1 000 otáčok a na „C3“ vidíme prúd na kotve. Pri prúde vidíme osciláciu polaritu spôsobenú preddefinovaným časom zastavenia.

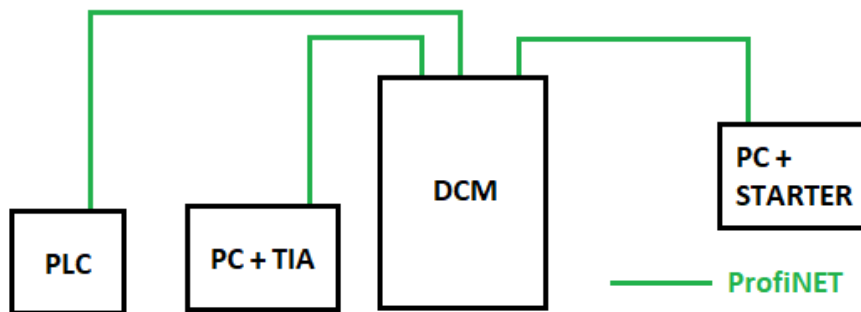


Obr. 12.26 Osciloskop – priebeh napätia na budení a prúd budenia

Na Obr.12.26 máme ukážku priebehu napätia na svorkách budenia (C1) a prúd tečúci do budenia (C3). Pomalý nábeh prúdu je spôsobený vysokou hodnotou indukčnosti budiaceho vinutia, a preto zo začiatku menič plne otvára tyristory a postupne ich obmedzuje na dostačujúcu hodnotu.

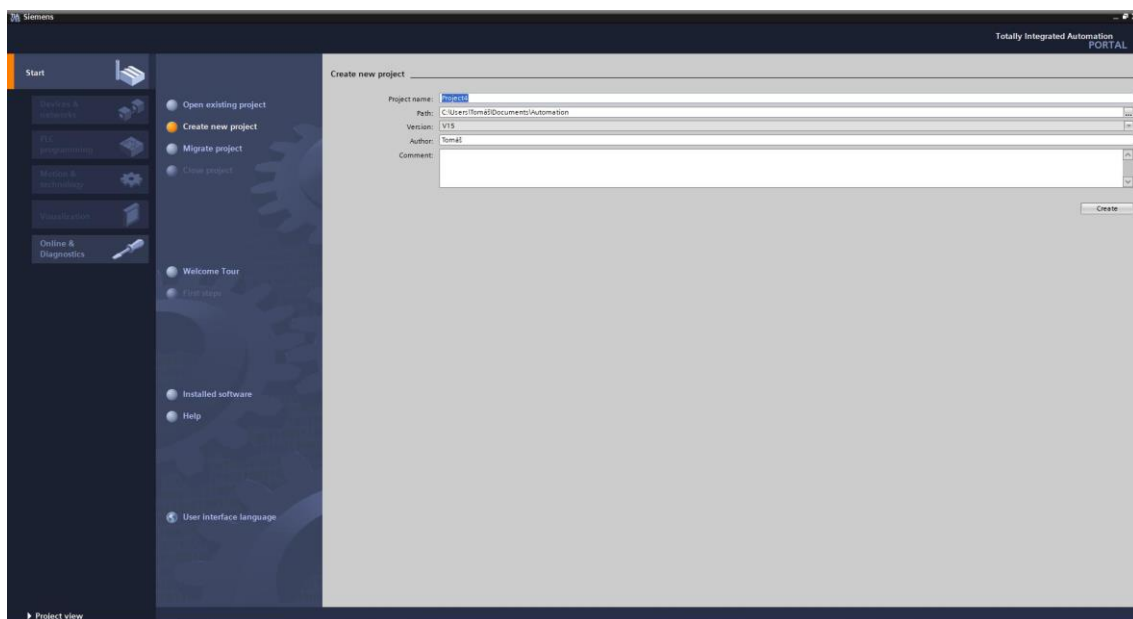
3.5 Popis prepojenia DCM meniča, PLC, STARTER a TIA

V tejto časti sa budeme venovať popisu prepojenia DCM meniča s PLC, vďaka ktorému môžeme prepočítavať hodnotu momentu na základe otáčok s cieľom dosiahnuť nami požadovanú aplikáciu. Jednotlivé položky sú prepojené cez ProfiNET, čo je v podstate priemyselné Ethernetové rozhranie. V tomto postupe začneme s prepojením PLC a DCM meniča cez TIA portal a súčasne aj so STARTER-om. TIA je skratka pre „Totally integrated automation“. Je to program navrhnutý pre jednoduchšiu komunikáciu medzi jednotlivými prvkami automatizácie – vstupov, výstupov, meničov, programovateľných logických jednotiek – PLC a samotné programové nastavenie.



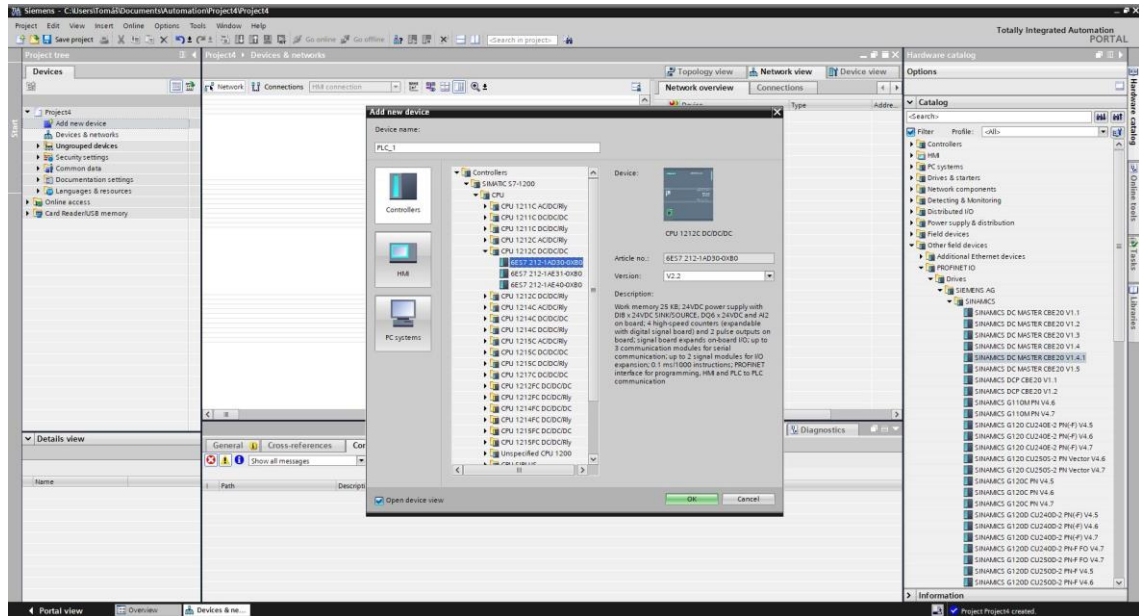
Obr. 13 Prepojenie jednotlivých súčastí

Celý proces začneme vytvorením nového projektu v softwari TIA, kde okrem názvu a adresára môžeme pridať komentár.



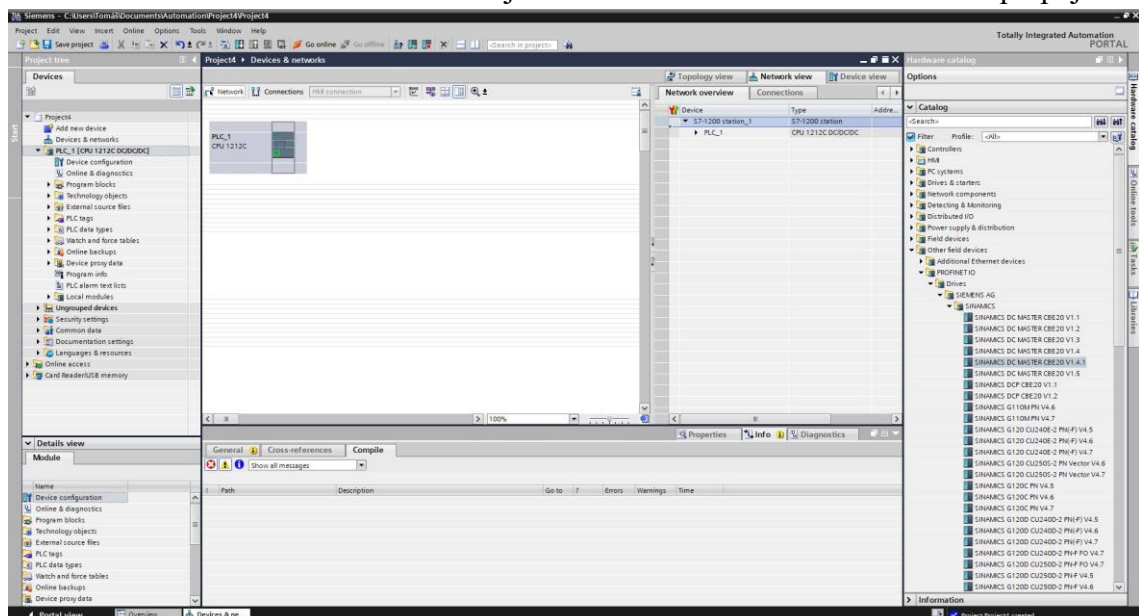
Obr. 13.1 TIA portal – vytvorenie projektu

Taktiež si môžeme v ľavej dolnej časti zvoliť projektový alebo portálový pohľad. Ďalším krokom je výber správnej verzie PLC. Túto informáciu je možné dohľadať na prednej strane, poprípade bočnej strane PLC. Naša verzia je SIMATIC S7-1200 1212 DC/DC/DC a podľa sériového čísla (bočná strana PLC) vyberieme správnu variantu.



Obr. 13.2 TIA portal – výber správnej verzie PLC

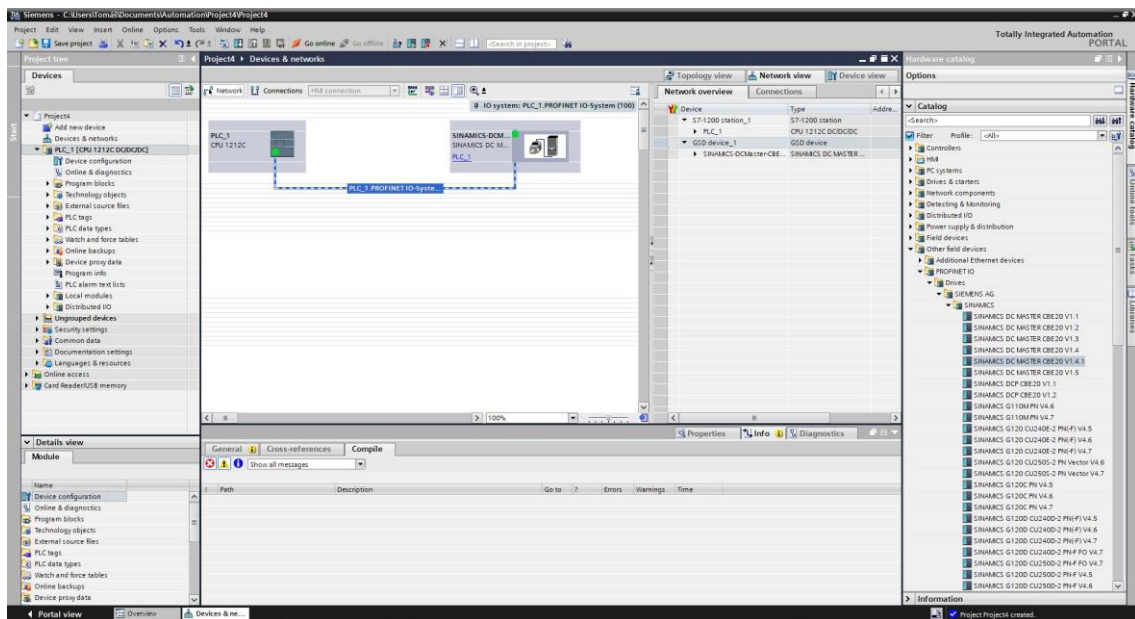
Po výbere sa dostaneme do projektového zobrazenia, konkrétne do sieťového zapojenia. V tomto okne vidíme všetky zariadenia, ktoré sme si doposiaľ vložili a zároveň ich vzájomné prepojenia.



Obr. 13.3 TIA portal – Network view

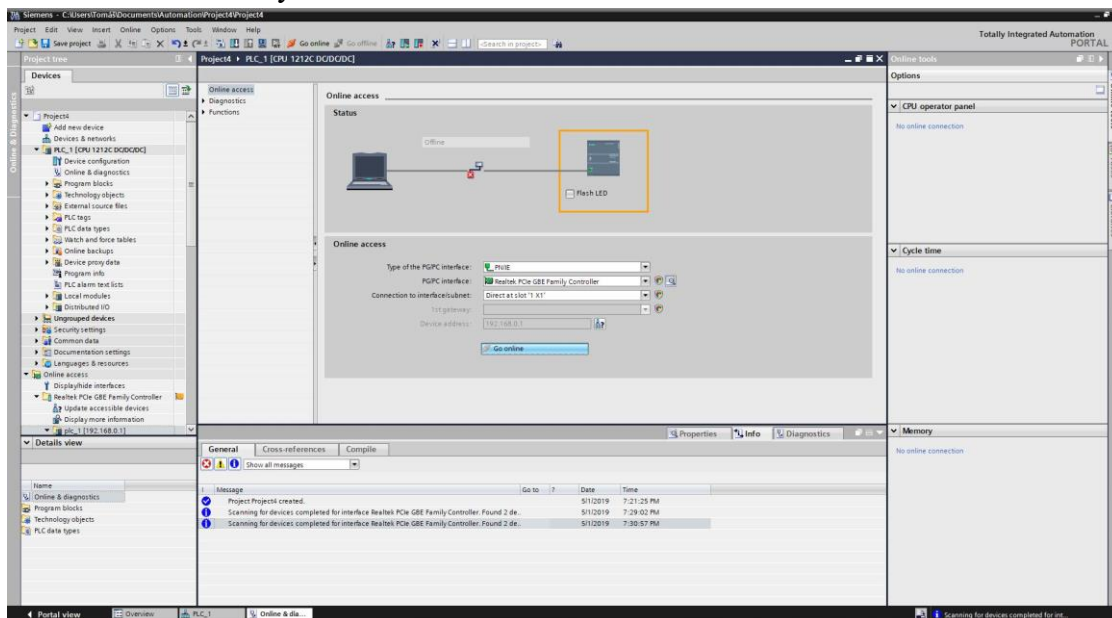
Ďalším krokom je vloženie nášho meniča. V pravej časti okna nájdeme katalóg, z ktorého môžeme vybrať náš menič. V ponuke sa nachádzajú všetky meniče rodiny

SINAMICS. Na obr.13.4 môžeme vidieť náš výber. Máme DC Master CBE 20 v.1.4.1. Po vložení do sieťového okna prepojíme pomocou kurzora naše zariadenia. Prepojenie je vedené z pomyselných ethernetových konektorov na grafike.



Obr. 13.4 TIA portal – vloženie meniča a prepojenie zariadení

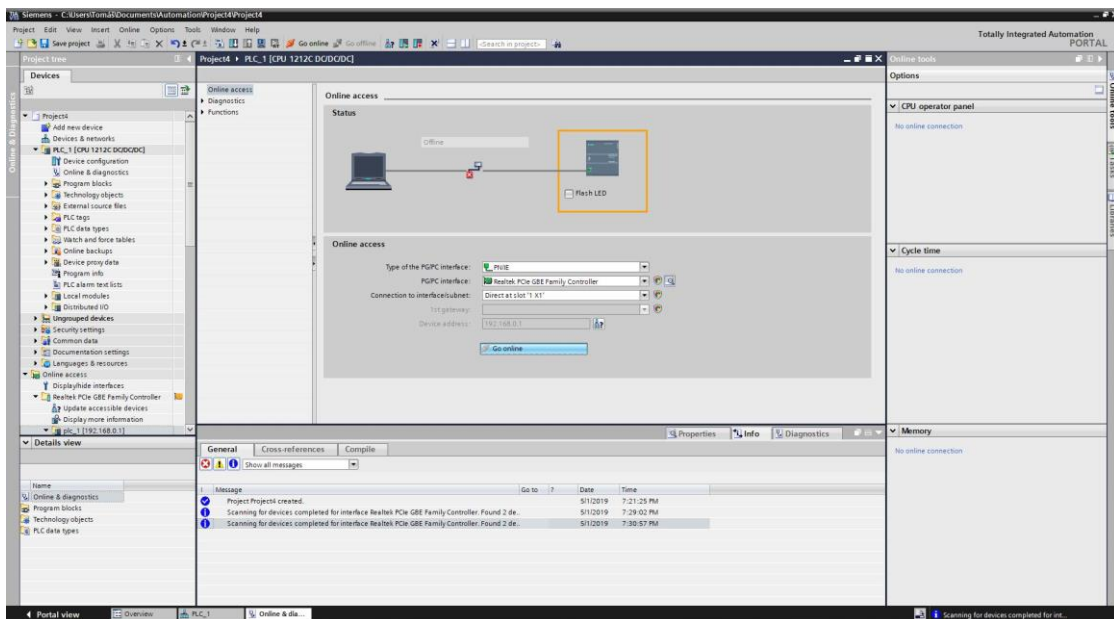
V ďalšom kroku vyhľadáme „Accessible nodes“. V „Online status information“ môžeme vidieť všetky detekované zariadenia v sieti.



Obr. 13.5 TIA portal – Accessible nodes – prístupové uzly

Pomocou tohto kroku si môžeme skontrolovať správne prepojenie jednotlivých súčastí. Po úspešnej detekcii PLC zariadenia, môžeme sa pokúsiť k nemu pripojiť a teda sa dostať do „Online mode“. To môžeme uskutočniť viacerými možnosťami. Jedna z možností je použiť priamu možnosť „Go online“ v horizontálnej lište.

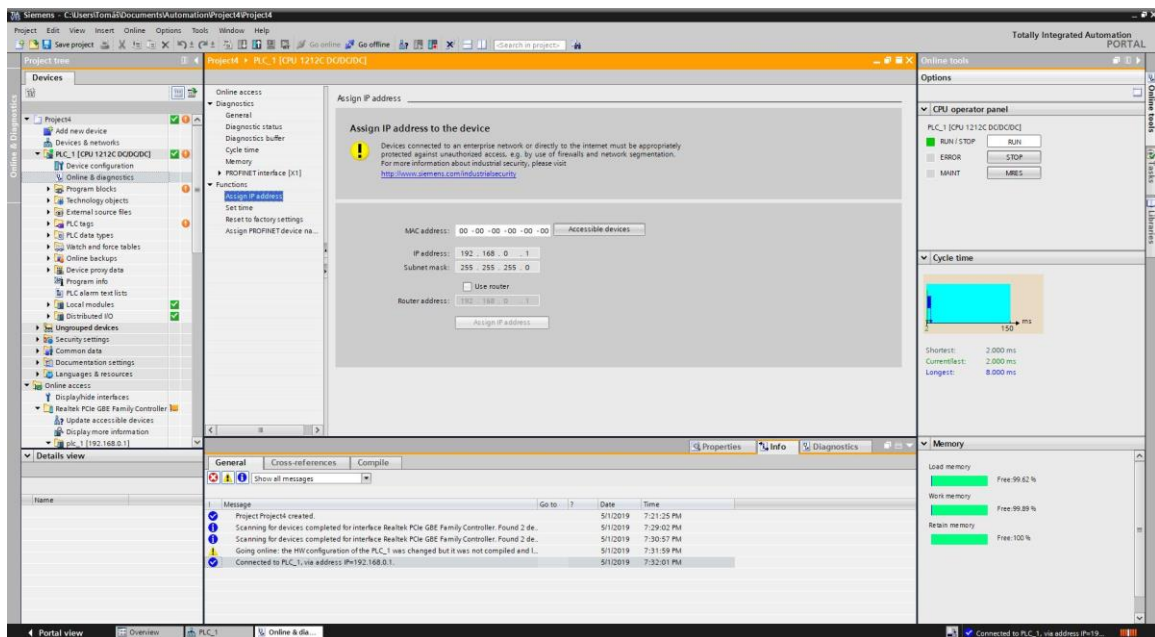
Ďalšia z možností je ísť skrz hornú lištu *Online*, ktorá ponúka už spomínanú možnosť, ale aj tzv. „Extended“ verziu.



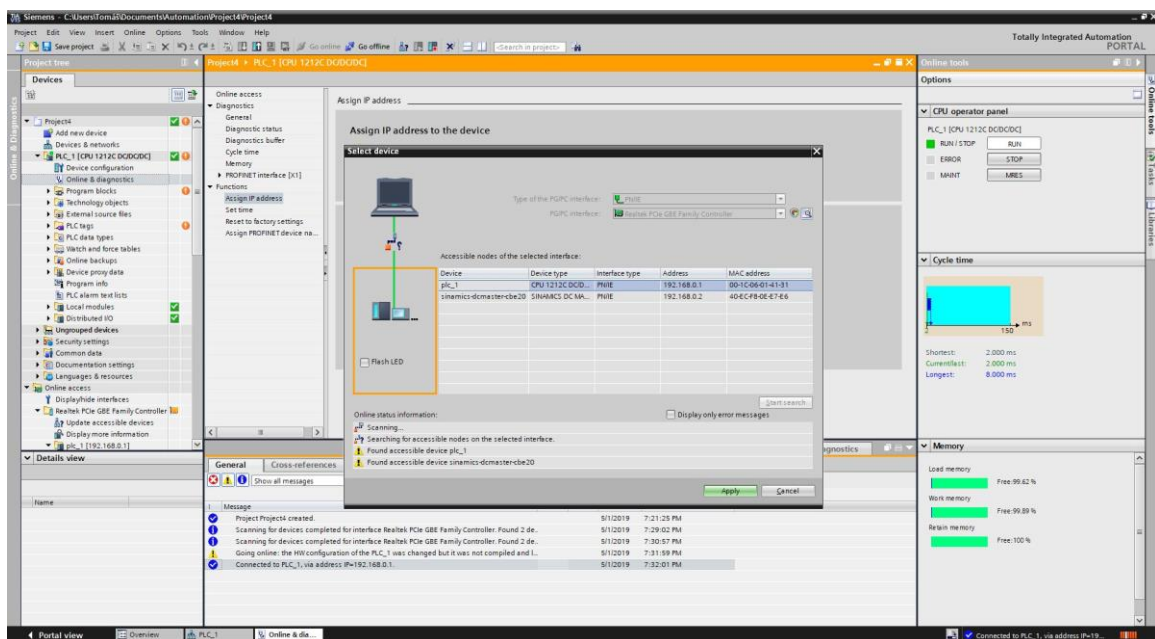
Obr. 13.6 TIA portal – prechod do Online módu

My použijeme ďalšiu možnosť, ktorá sa ponúka cez možnosť „Online & Diagnostics“ vo vertikálnej lište v možnostiach PLC. V danom okne len zaklikneme „Go online“.

Po prechode do online módu je nutné zosynchronizovať IP adresy a pre menič navyše aj názov, v opačnom prípade bude menič „nedosiahnuteľný“ alebo sa objaví error „Error, error in lower level“. Uskutočnime to tak, že sa preklikneme do možnosti „Functions“. Rozbalí sa nám celá možnosť a vyberieme „Assign IP address“. Tu pomocou „Accessible nodes“ vyhľadáme zariadenie, ktoré práve modifikujeme a vyberieme ho. Potom už len potvrdíme priradenie IP adresy. Najprv to urobíme pre PLC, následne pre menič. U meniča navyše je nutné zmeniť názov. Po úspešnom priradení sa presunieme na možnosť „Assign PROFINET Device name“. V tabuľke „dostupných uzlov“ vyberieme menič a „Assign name“. V prípade, ak tam nevidíme náš menič, použijeme ešte možnosť „Update list“ a až tak priradíme meno.

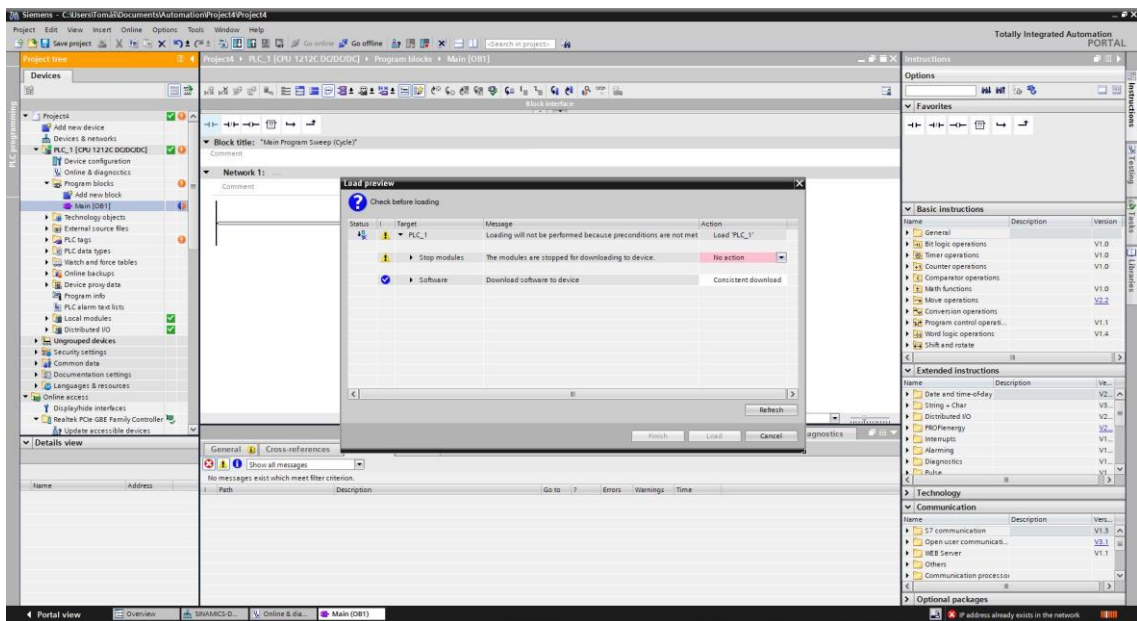


Obr. 13.7 TIA portal – priradenie IP adresy a názvu



Obr. 13.8 TIA portal – priradenie IP adresy a názvu

Po úspešnom priradení sa môžeme presunúť k vytvoreniu programu. Samotnému programu sa budeme venovať neskôr. Ďalší krok bude stiahnutie prázdneho programu. Vyberieme možnosť z horizontálnej lišty „Download to device“. Automaticky sa nám zobrazia položky, ktoré musia byť opravené pre úspešné stiahnutie programu do PLC. Po opravení môžeme program nahrat’ „Load“.



Obr. 13.9 TIA portal – prenos programu do PLC

Ďalším cieľom bude dosiahnutie prepojenia medzi meničom a PLC. Komunikáciu zabezpečujú telegramy. Máme možnosť použiť štandardné telegramy, ale aj telegramy vytvorené v SIEMENS-i pre ich vlastné aplikácie.

Standard telegram 1	PZD-2/2
Standard telegram 3	PZD-5/9
Standard telegram 4	PZD-6/14
Standard telegram 20	PZD-2/6
SIEMENS telegram 220	PZD-10/10
SIEMENS telegram 352	PZD-6/6
SIEMENS telegram 390	PZD-2/2
Free telegram configuration with BICO	vlastné

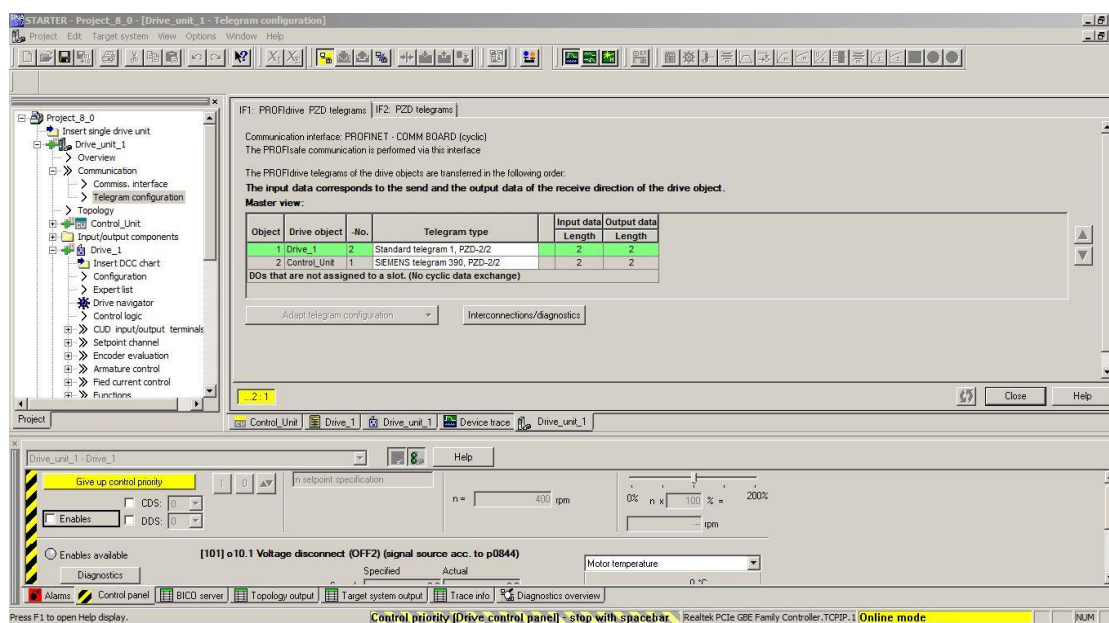
Tabuľka 2 Komunikačné telegramy

PZD X/X znamená počet odosielaných a počet prijímaných informácií typu *WORD*. **Free telegram configuration with BICO** nám umožňuje si nastaviť vlastný počet odosielaných a zároveň aj vlastný počet prijímaných *WORD*-ov. Dátový typ *WORD* môže mať nasledujúce podoby podľa tabuľky 3.

WORD	16 bits	Binary number	2#0 to 2#1111_1111_1111_1111
		Hexadecimal number	W#16#0 to W#16#FFFF
		BCD	C#0 to C#999
		Decided number unsigned	B#(0,0) to B#(255,255)

Tabuľka 3 Dátový typ WORD

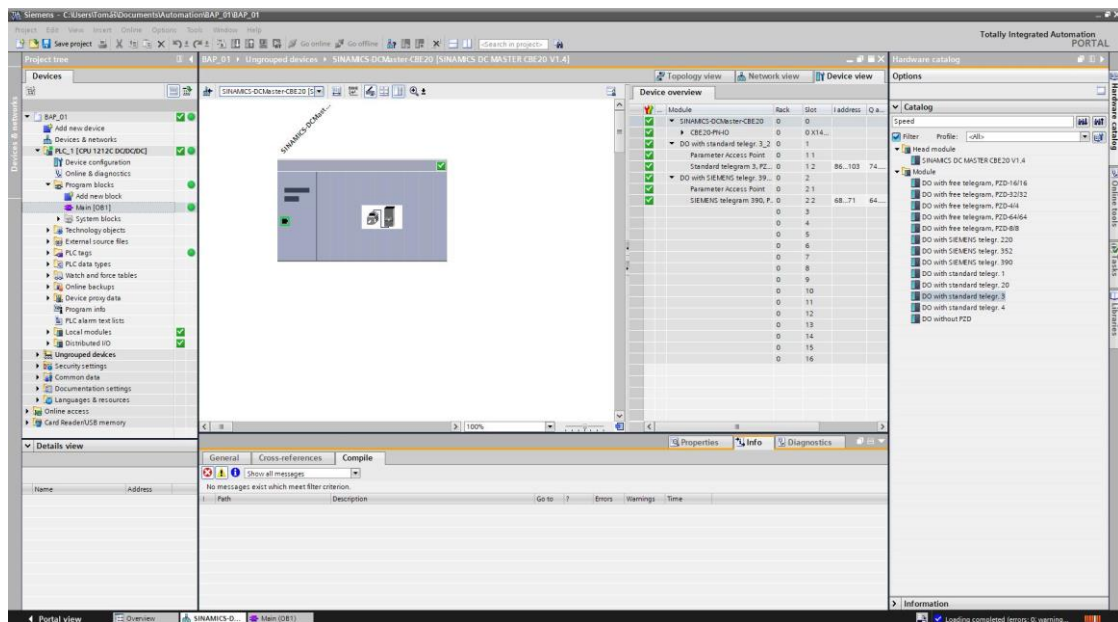
V prípade, že chceme nastavovať len počet otáčok za minútu, tak nám stačí použiť **Standard telegram 1**, ktorý už je preddefinovaný na tento účel. Ak chceme ešte navyše prepočítavať moment a posielat' ho ako presnú hodnotu, potrebujeme použiť aspoň **Standard telegram 3**. Tieto telegramy je nutné nastaviť v STARTER-i. Nájdeme to pod „Communication“ vo vertikálnej lište. Začneme najprv aplikáciou s použitím štandardného telegramu 1 a budeme len nastavovať otáčky



Obr. 13.10 STARTER – nastavenie telegramov

Po tom, ako zvolíme telegramy pre *Drive, slot 1* – Standard telegram 1 a pre *Control unit, slot 2* – SIEMENS telegram 390 v STARTER-i, je nutné to nastaviť aj v TIA portáli pre menič. Otvoríme si *Device view* a z katalógu vyberieme presne tie isté telegramy, ktoré sme vybrali v STARTER-i. Nutné je dať pozor na sloty, aby sa

zhodovali. Čiže ak je napr. na prvom slotе telegram 1 tak potom musí byť nastavený na prvý slot aj v TIA portáli.



Obr. 13.11 TIA portal – výber a vloženie telegramov

Týmto by mala byť zabezpečená komunikácia medzi meničom a PLC.

3.6 Programové riešenie

Teraz sa budeme venovať programu. Program bude vo funkcii *MAIN*, kam vložíme funkciu *SINA_SPEED*, ktorá slúži na spustenie a nastavenie rýchlosti motora. *SINA_SPEED* je cyklická funkcia, čo znamená, že beží stále na pozadí a nie len v prípade zmeny nejakého parametru alebo ako reakcia na nejaký impulz. Pre túto funkciu je potrebný práve štandardný telegram 1 s PZD 2/2. Podľa tabuľky 4 si môžeme pozrieť prenos kontrolných slov a nastavovaných hodnôt rýchlosti tzv. „setpointov“.

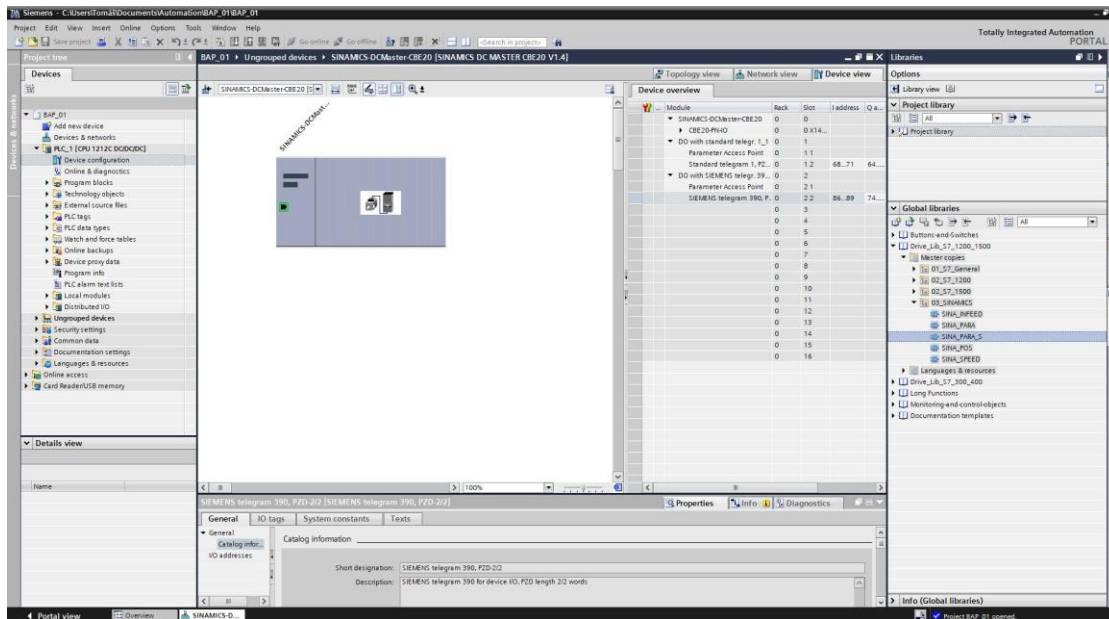
Vysielané do meniča		
Adresa	Názov	Obsah
PZD 1	STW1	Control word 1
PZD 2	NSOLL_A	Setpoint speed value

Tabuľka 4 Vysielané kontrolné slová a setpointy

Prijímané do meníča		
Adresa	Názov	Obsah
PZD 1	ZSW1	Status word 1
PZD 2	NIST_A	Setpoint speed of the motor

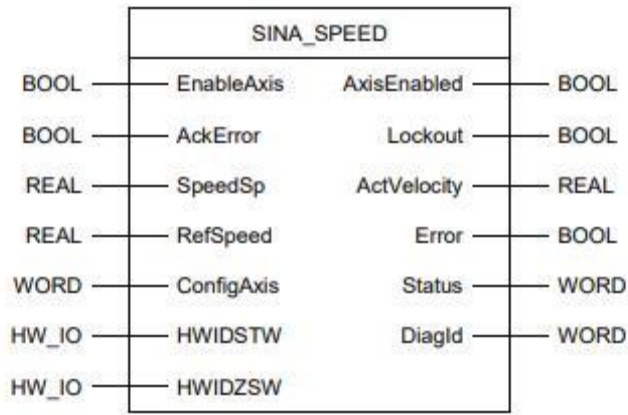
Tabuľka 4 Prijímané kontrolné slová a setpointy

Funkciu SINA_SPEED nájdeme vo vertikálnej lište na pravej strane v „Libraries“. Podrobnejšiu cestu k funkcii si môžeme všimnúť obrázku 13.11.



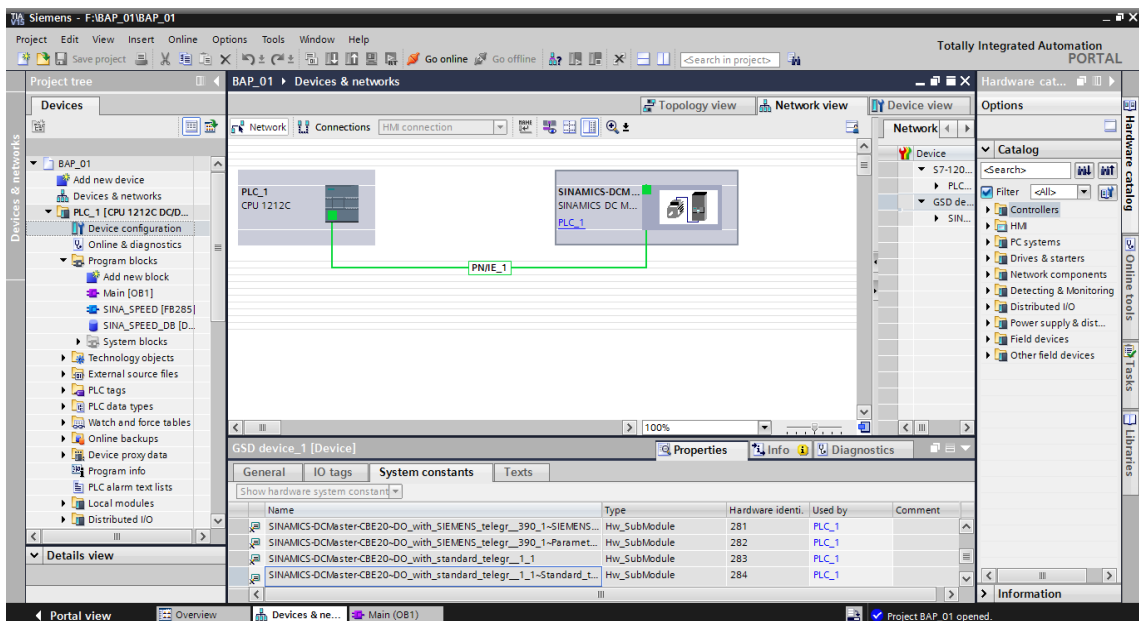
Obr. 13.12 TIA portal – vloženie SINA_SPEED

Touto cestou môžeme vložiť aj SINA_PARA a SINA_PARA_S, pomocou ktorých vieme aj posielať hodnotu setpointu na moment a teda docieľiť nami požadovanú aplikáciu. Podrobnejší popis funkcie SINA_SPEED aj s vysvetlením je na obrázku 13.13. Pomocou *Enable axis* spúšťame a zastavujeme motor. Je to v BOOL logike, čo znamená možnosti TRUE a FALSE alebo 1 a 0. *AckError* znamená „Acknowledge error“ a to znamená v prípade TRUE alebo 1, že sme oboznámený s errorom, ktorý sa vyskytol. *SpeedSp* znamená „Speed Setpoint“ a je to v podstate nastavenie hodnoty otáčok, ktoré chceme. *RefSpeed* je „Reference Speed“ čo predstavuje referenčnú rýchlosť. Znamená to, že údaj je posielať v percentách vzťahovaný k referenčnej hodnote. Dôležitými údajmi sú posledné dve položky. Konkrétne *HWIDSTW* a *HWIDZSW*. Tieto položky predstavujú systémové konštanty, inými slovami hardwarové ID meníča a zabezpečujú prepojenie funkcie s našimi komunikačnými telegramami.

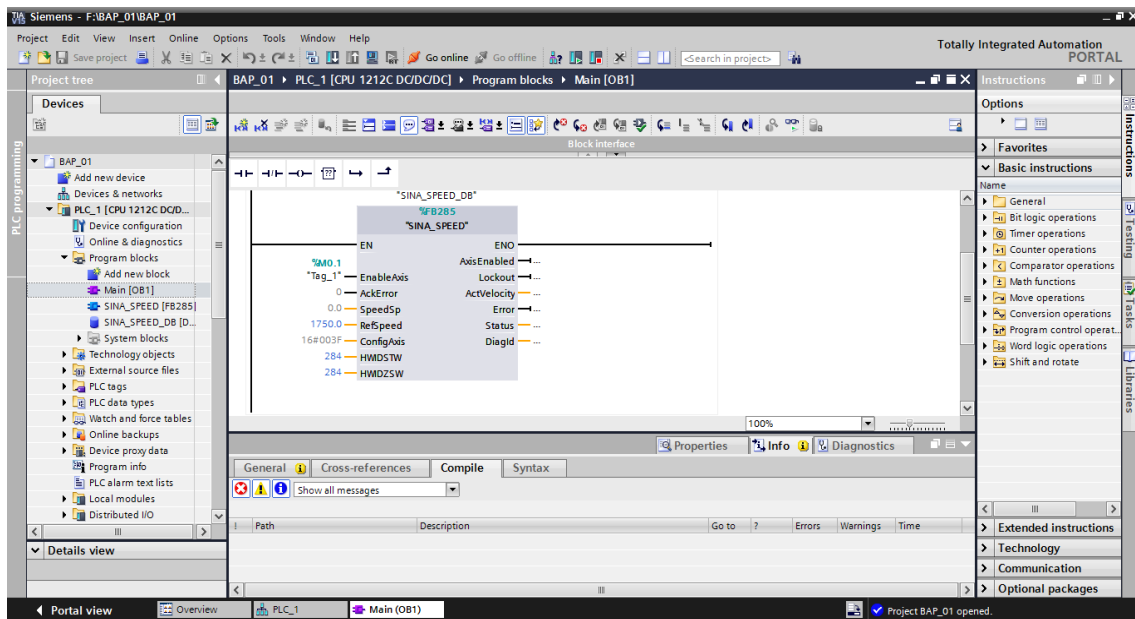


Obr. 13.13 Popis funkcie - SINA_SPEED [14]

Nájde ich v *Device view* pre DCM menič. Zaklikneme pravým tlačidlom a prejdeme na „Properties“. Po otvorení spodného okna prejdem z „General“ do „System constants“. Tu z možností vyberieme poslednú možnosť, ako je na obrázku 13.13 typu *Hw_Submodule* s hardwerovým identifikátorom **284**. Hardwerový identifikátor vpíšeme do oboch HW_IO.

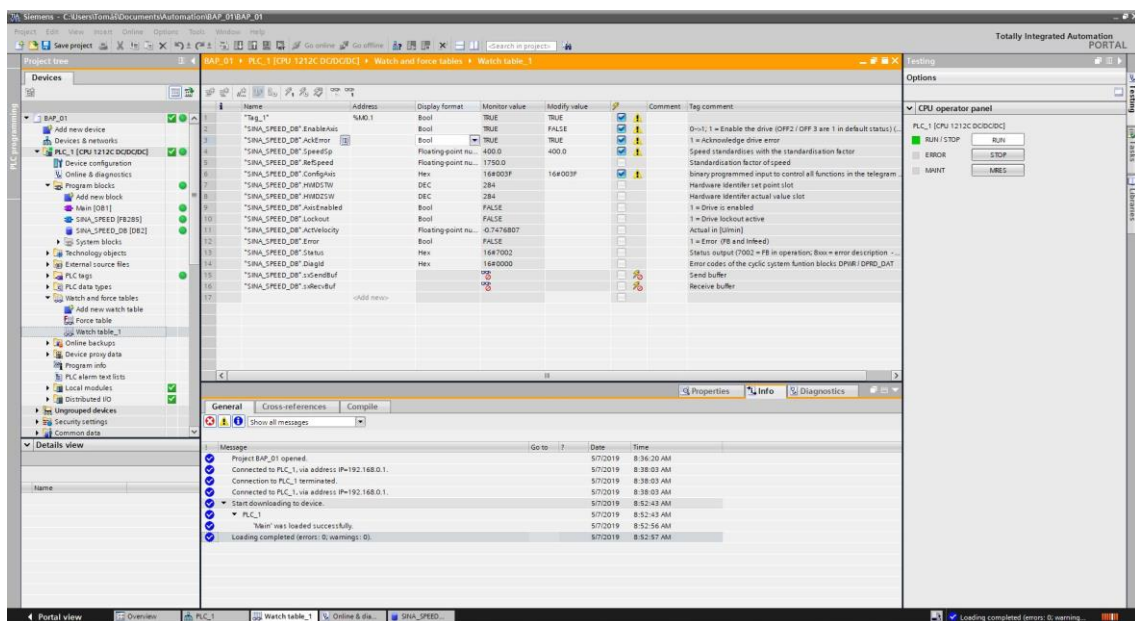


Obr. 13.14 TIA portal – System constants obrazok funkcie



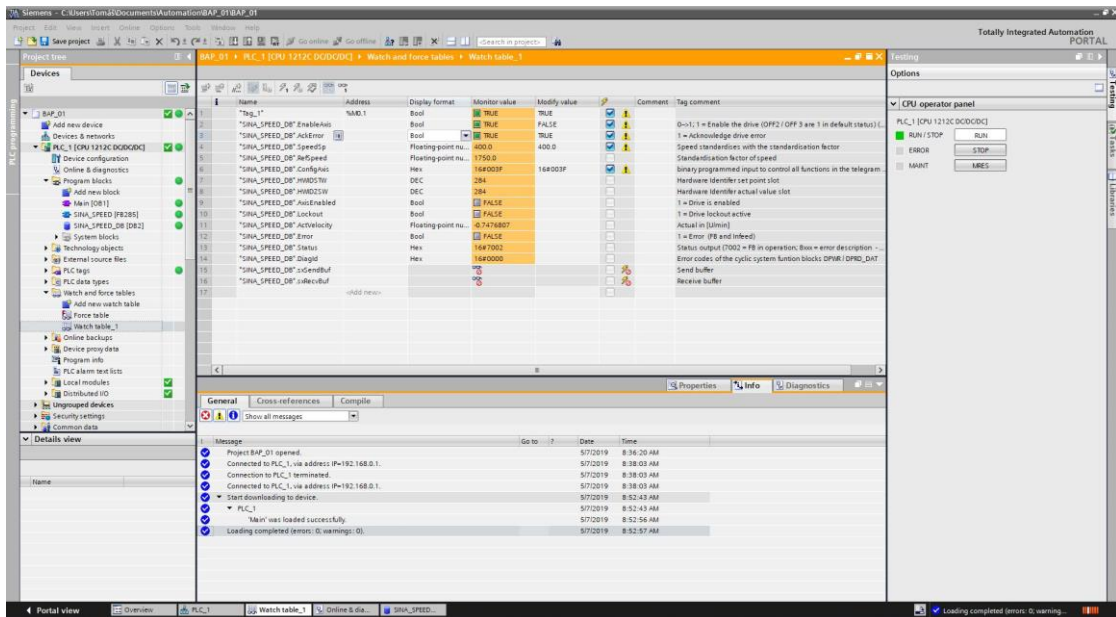
Obr. 13.15 TIA portal – názorná bloková funkcia

V tomto momente to máme hardwarovo prepojené a môžeme sa pozrieť ako prebieha prepojenie. Ďalší krok bude vytvorenie „Watch table“, ktorý nájdeme vo vertikálnej lište na ľavej strane. Služi k snímaniu premenných v reálnom čase a aj na ich modifikáciu. Po vytvorení Watch table doň vložíme premenné z našej funkcie.



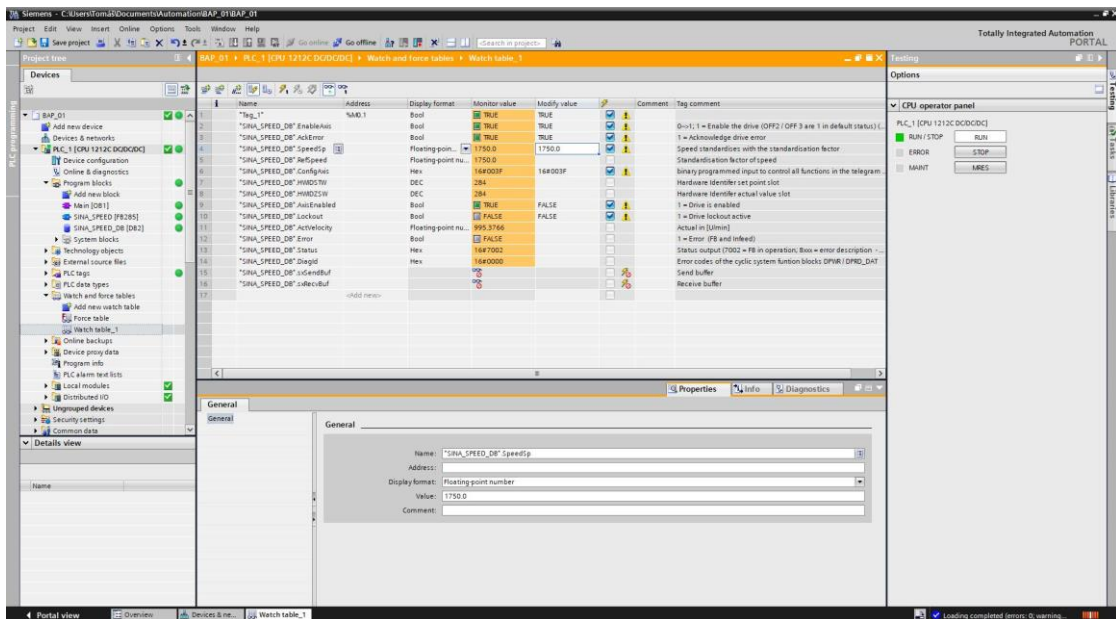
Obr. 13.16 TIA portal – Watch table

Keď už máme vložené všetky premenné, ktoré chceme sledovať, tak spustíme sledovanie pomocou ikonky „okuliarov“, ktorá sa nachádza nad názvami premenných.

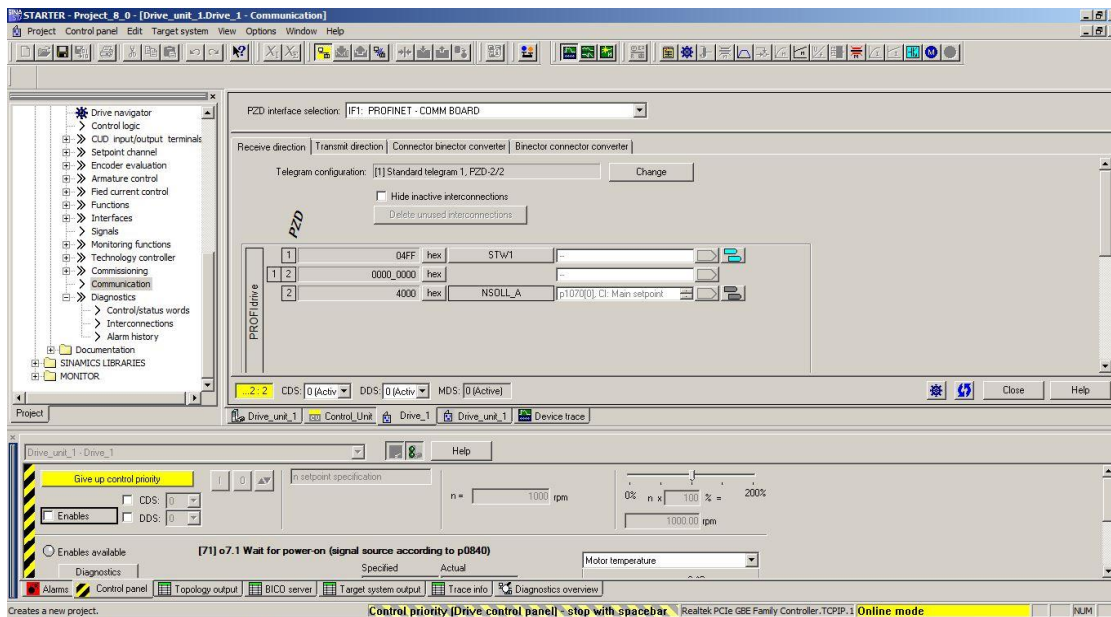


Obr. 13.17 TIA portal – Watch table – sledovací mód

Ak chceme aplikovať zmenu, ktorú sme vykonali v „Modify value“ pre príslušnú premennú, potrebujeme použiť „blesk“, ktorý sa taktiež nachádza v lište nad názvami. Na obrázkoch 13.17 až 13.20 môžeme vidieť ako dané súčasti spolu komunikujú cez telegramy.

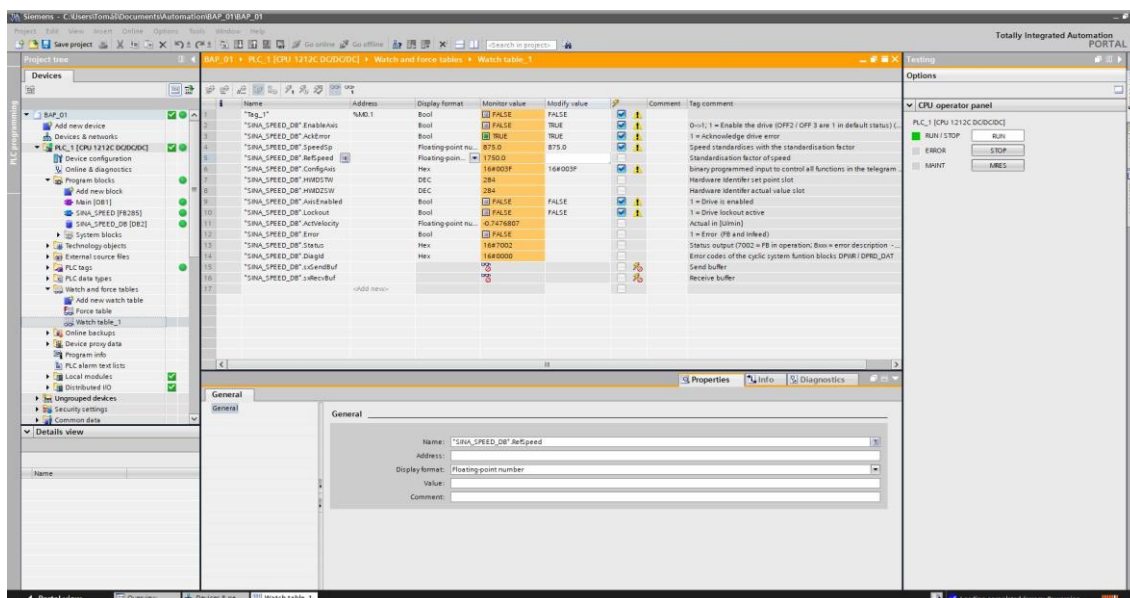


Obr. 13.18 TIA portal – Standard telegram 1 – spustenie a 1750 otáčok

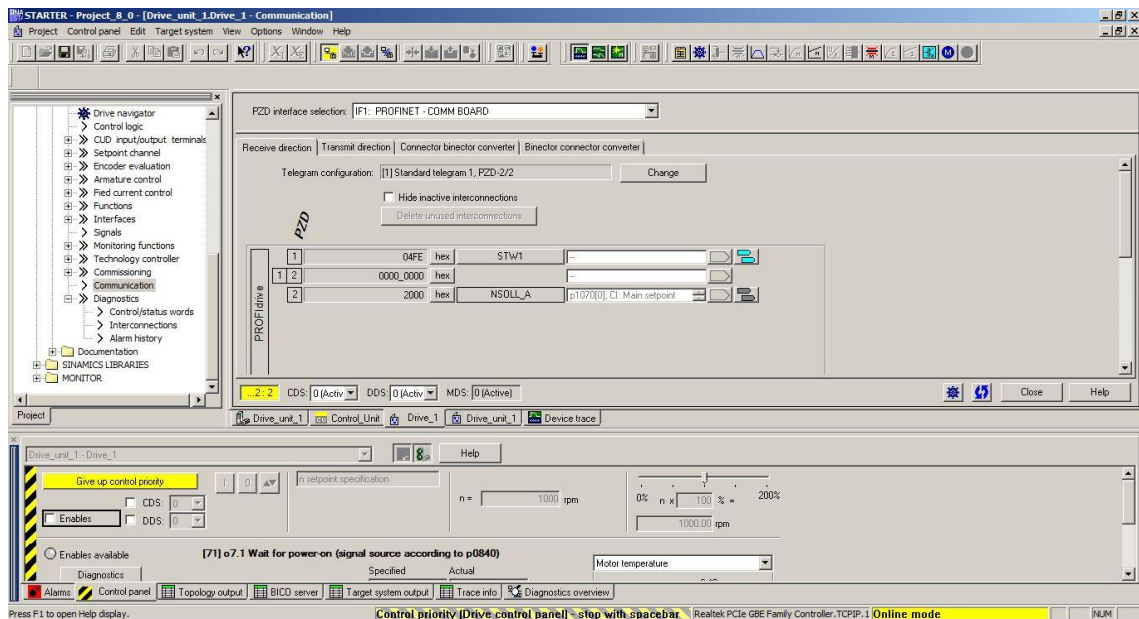


Obr. 13.19 STARTER – Standard telegram 1 – spustenie a 1750 otáčok

Ako si môžeme všimnúť, tak otáčky sú vzťahované k referenčnej hodnote nastavenej v STARTER-i v expert liste, tak aj vo funkcii SINA_SPEED v TIA portal-i. Prenos je v HEX, čo znamená hexadecimálny tvar čísla, kde 100% referenčnej hodnoty – 1750 otáčok za minútu predstavuje „4000“. A teda 875 otáčok za minútu predstavuje 50% referenčnej hodnoty a v HEX formáte to predstavuje číslo „2000“.

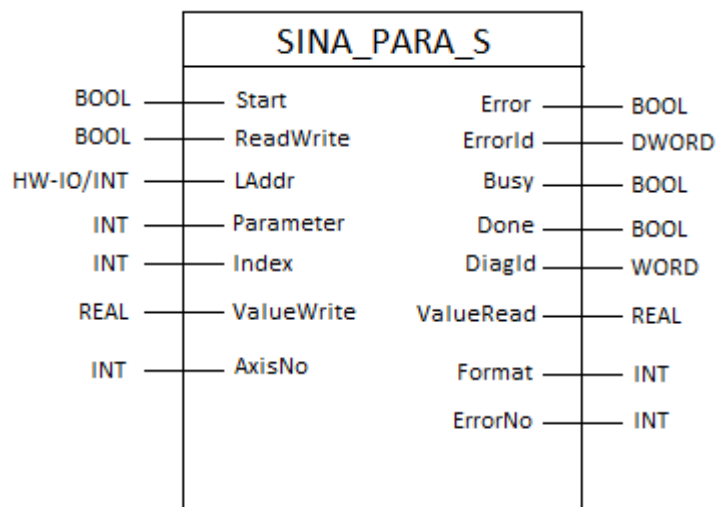


Obr. 13.20 TIA portal – Standard telegram 1 – vypnutie a 875 otáčok



Obr. 13.21 STARTER – Standard telegram 1 – vypnutie a 875 otáčok

Rovnakým spôsobom by sme riešili aj prípad, ak by sme chceli prepočítavať moment v PLC na základe otáčok získaných z meniča a posielat' ho ako presnú hodnotu späť na menič. Pre tento prípad by sme použili funkciu SINA_PARA alebo SINA_PARA_S. Tieto funkcie sú na rozdiel od SINA_SPEED acyklické, to znamená, že ich činnosť musí niečo vyvolať.



Obr.13.22 Popis funkcie SINA_PARA_S

V tabuľke č.5 sú vysvetlené jednotlivé položky pre správnu konfiguráciu.

Terminál	Datový typ	Popis
Start	BOOL	Spustenie
ReadWrite	BOOL	Druh operácie: 0 = čítanie; 1 = zápis
LAddr	HW-IO/INT	HW ID aktuálneho telegramu
Parameter	INT	Číslo parametra
Index	INT	Index parametra
ValueWrite	REAL	Hodnota parametra, aká má byť zapísaná
AxisNo	INT	Číslo osi v multi-osom systéme (NIE pre DCM)
Error	BOOL	Skupinový error aktívny: Error = 1
Errorld	DWORD	Error ID
Busy	BOOL	Úloha je vykonávaná: Busy = 1
Done	BOOL	Úloha dokončená bez erroru. Hrana z 0 -> 1
Diagld	WORD	Error v rozšírenej komunikácii: error počas SFB call
ValueRead	REAL	Aktuálna hodnota čítaného parametra
Format	INT	Formát čítaného parametra
ErrorNo	INT	Číslo erroru vzhľadom k PROFIdrive profilu

Tabuľka 6 Popis terminálov funkcie SINA_PARA_S

Niektoré terminály sa netýkajú nášho meniča ako napríklad „AxisNo“. Tie sú primárne určené pre menič napr. G120. *LAddr* je hardwarové ID, analógovo ako v prípade SINA_SPEED to nájdeme medzi vlastnosťami meniča pod kartou „System constants“.

3.7 Návrh momentového výpočtu

Konkrétne riešenie výpočtu momentu uskutočnime následovne. Použijeme funkciu SINA_PARA_S, z ktorej raz čítame reálnu hodnotu otáčok motora a následne druhýkrát, keď pomocou nej posielame hodnotu momentu naspäť. Potom pomocou matematických funkcií, ktoré nájdeme v pravej vertikálnej lište v TIA portal-i, uskutočníme výpočet. V prípade, že si zvolíme kalandrovú charakteristiku, tak výpočet bude nasledovný. Otáčky, ktoré prečítame z funkcie, musíme previesť do uhlovej rýchlosti. Medzi otáčkami za minútu a uhlovou rýchlosťou platí nasledovný vzťah:

$$\Omega = \frac{2 * \pi * n}{60} [rad. s^{-1}] \quad (1.28)$$

Následne pomocou uhlovej rýchlosti už môžeme vypočítať moment na základe vzťahu 1.16.

$$M_z = sgn \Omega * b_1 * |\Omega| \quad (1.16)$$

Funkcia by vyzerala nasledovne, kde na výstupné hradlo pridáme „Tag“ s názvom „Moment_OUT“, ktorý má dátový typ *REAL* a je uložený do „Global memory“ na adresu „%M0.1“.

„Moment_OUT“ následne pošleme do funkcie *SINA_PARA_S* pre zápis. Daná hodnota už je posiellaná pomocou telegramu do meniča na jednotlivé parametre.

V prípade akejkoľvek inej mechanickej charakteristiky sa celý postup líši len vo výpočte momentu v matematickej funkcii.

Záver

Úvodné kapitoly mojej práce boli venované teórii o jednosmernom motore s cudzím budením. Spomenul som jeho pretrvávajúce výhody v priemysle a trakcii, ozrejmil jeho konštrukciu a princíp činnosti. Venoval som sa aj jeho spúšťaniu, mechanickým charakteristikám a riadeniu rýchlosti. V ďalšej časti som vysvetlil základný princíp činnosti tyristorového meniča a možnosti riadenia v štyroch kvadrantoch. Nasledujúca kapitola bola venovaná popisu pracoviska, jednotlivých súčasti a softwarovému vybaveniu. Po zapojení meniča do siete som začal so základným prepojením s cieľom dosiahnuť komunikáciu medzi jednotlivými súčasťami. Po úspešne zvládnutej komunikácii bolo cieľom posielat' informácie cez štandardizovanú telegramovú komunikáciu. Informácie sa nám podarilo úspešne posielat' cez ethernetové prepojenie ProfiNET a štandardné telegramy. V závere práce som navrhol riešenie na momentový prepočet na základe otáčok motora za minútu s cieľom dosiahnuť požadovanú aplikáciu. Prácu považujem za podklad pre budúce aplikácie štvorkvadrantového meniča v laboratóriách elektrických pohonov a trakcie s predpokladom použitia PLC zariadenia a HMI pre jednoduchšie ovládanie meniča.

Zoznam použitej literatúry

- [1] Petr Voženílek, Vladimír Novotný, Pavel Mindl: Elektromechanické měniče, Praha: ČVUT, 08/2015, ISBN 978-80-01-04875-7
- [2] Jiří Pavelka, Jiří Zděnek: Elektrické pohony a jejich řízení, Praha: ČVUT, 07/2015, ISBN 978-80-01-05785-8
- [3] Jiří Pavelka, Zdeněk Čeřovský, Jiří Lettl: Výkonová elektronika, Praha: ČVUT, 2007, ISBN 978-80-01-03626-6
- [4] <http://diplom.utc.sk/wan/2863.pdf>
- [5] <https://vyvoj.hw.cz/navrh-obvodu/nizkonapetovy-menic-pro-pohon-stejnosmerneho-motoru.html>
- [6] https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5911
- [7] http://www.plcdev.com/step_7_elementary_data_types
- [8] Manuál SIEMENS – SINAMICS DC Converter
- [9] Manuál SIEMENS – SINAMICS DCM List Manual
- [10] <https://support.industry.siemens.com/cs/start?lc=en-US>
- [11] https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64294
- [12] http://homen.vsb.cz/~ste37/Elektricke%20pohony%202018/03d%20-Polovodicove_menice.pdf
- [13] SIEMENS FAQ-04EP6Z7Q - How to read or write a single parameter using FB287
- [14] SIEMENS FAQ-04EP754 - How to read or write multiple parameters using FB286
- [15] <http://diplom.utc.sk/wan/1388.pdf>
- [16] https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=38924
- [17] LEONHARD, Werner. Control of electrical drives. 3rd ed. Berlin: Springer, c2001. ISBN 3-540-41820-2.
- [18] HRABOVCOVÁ, Valéria. Moderné elektrické stroje. Žilina: Žilinská univerzita, 2001. ISBN 80-7100-809-5.