

Návrh a konstrukce synchronního soustrojí

Zdeněk Frank

Katedra elektroniky a výkonové elektroniky

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

frankz@kev.zcu.cz

Design and Construction of a Synchronous Machinery

Abstract — The paper deals with a complete manufacture of a synchronous machinery for educational purposes. The main targets of the design is creation of a machinery which clearly shows all constructional components of used machines, its overall dimensions allow easy transportation between education rooms and both included machines are also fully functional samples of synchronous machines. It includes basic information about electromagnetic design of both machines coupled in the machinery and their calculated characteristics. This design is supplemented by mechanical design of the whole display stand with regard to achieve access to each part of manufactured machines. Calculated data are further compared with results of tests performed on manufactured machinery.

Keywords – Constructional solution; Electrical motor machinery; Electromagnetic design; Synchronous machine

I. ÚVOD

Cílem této práce je navrhnout a zkonstruovat soustrojí vhodné pro výukové účely. Soustrojí bude tvořeno dvěma synchronními stroji s vníklými póly. Tento typ stroje je nejčastěji využíván jako zdroj elektrické energie ve vodních elektrárnách. Soustrojí má za úkol pomoci studentům pochopit základní problematiku principů a konstrukce synchronních strojů. Tento článek obsahuje základní informace o elektrickém návrhu, konstrukční řešení a ověření elektromagnetického návrhu měření.

II. KONCEPT

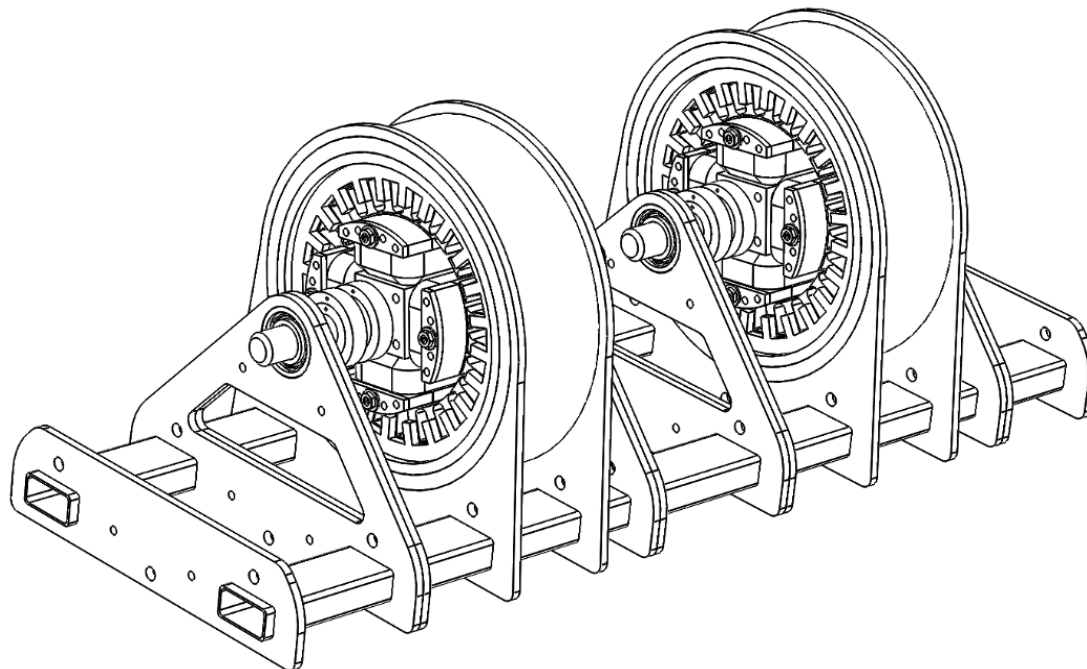
Na začátku práce bylo nutné stanovit postup, jakým se bude třeba řídit při návrhu a konstrukci synchronního soustrojí. V první řadě bylo nutné určit vlastnosti a požadavky kladené na soustrojí. Těmi v tomto případě jsou:

- Názornost – Vhodnost pro výukové účely.
- Proveditelnost – Jednoduchá konstrukce.
- Mobilita – Snadný přenos mezi učebnami.
- Variabilita – Možnost osazení jinými komponenty.

Na základě uvedených požadavků bylo rozhodnuto o stavbě soustrojí tvořeného dvěma synchronními motory o výkonech cca 500 W a o technologii výroby. Motory jsou uzpůsobeny tak, aby byl možný rozběh pomocí autotransformátoru. Byl proveden elektromagnetický návrh s výkresovou dokumentací synchronního motoru.

III. USPOŘÁDÁNÍ SOUSTROJÍ

Soustrojí je složeno ze dvou totožných hydroalternátorů, které jsou spojeny hřídelem za pomoci šestihřanné spojky. Stroje jsou uloženy na nosných profilech, které zajišťují souosost a tvoří nosný rám. Jednotlivé části strojů jsou staženy a vymezeny závitovými tyčemi, viz Obrázek I.



Obrázek I. Uspořádání synchronního soustrojí

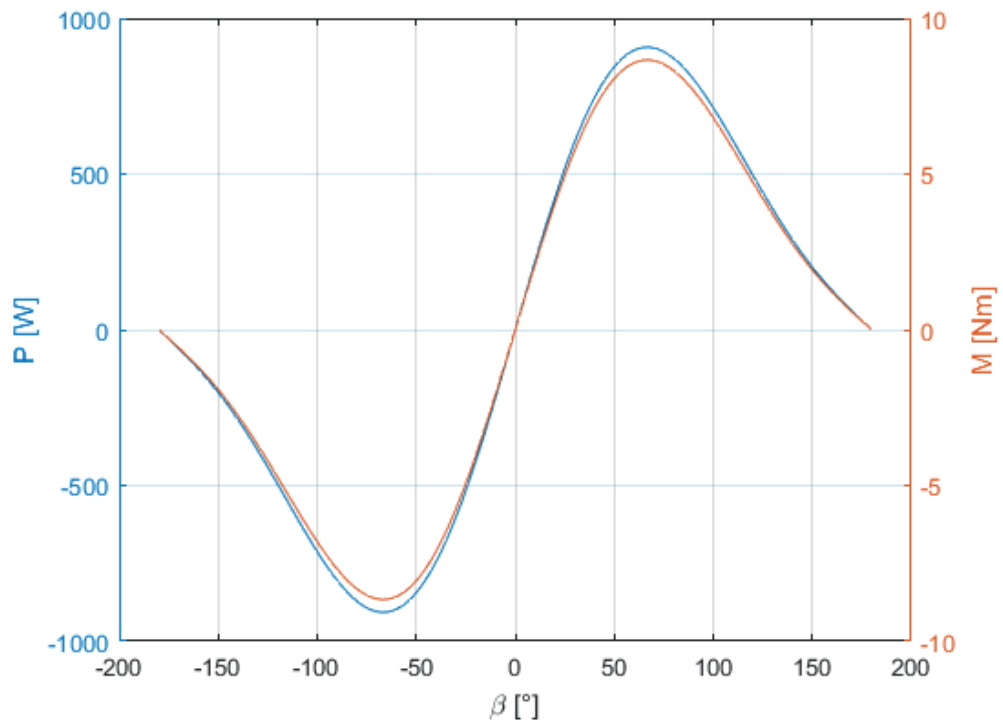
IV. ELEKTROMAGNETICKÝ NÁVRH STROJE

Návrh stroje probíhal za pomoci běžně dostupné literatury [1 - 3]. Navrženy byly dva stroje, jeden z nich je určen primárně pro funkci v motorickém, druhý v generátorickém režimu.

TABULKA I. PARAMETRY NÁHRADNÍHO SCHÉMATU

Parametry	Hodnota	Jednotka
Odpor statorového vinutí	22,7	Ω
Odpor budícího vinutí	2,43	Ω
Podélná nesyčená synchronní reaktance	223	Ω
Příčná nesyčená synchronní reaktance	135	Ω

Na základě parametrů náhradního schématu viz Tabulka I, byla určena momentová a výkonová charakteristika viz Obrázek II. Z této charakteristiky je patrné, že motor při jmenovité zátěži bude dodávat krouticí moment $M = 5,6 \text{ Nm}$ a pracovat se zátěžným úhlem $\beta = 29^\circ$. Přetížitelnost stroje je 56 % a maximální zátěžný úhel je $\beta_{\max} = 66^\circ$.



Obrázek II. Graf výkonové a momentové charakteristiky synchronního motoru

V. MĚŘENÍ

Zkoušky probíhaly dle EN 60034 a v průběhu zprovoznování soustrojí byly provedeny následující zkoušky:

- Měření odporů vinutí
- Měření na prázdno a nakrátko
- Oteplovací zkouška při jmenovitém zatížení

A. Měření odporů vinutí

Měření odporů vinutí bylo provedeno měřicím přístrojem CROPICO DO5000 při pokojové teplotě 23 °C. V odporu vinutí je zahrnut i kontaktní odpor přívodních svorek. U satorového vinutí byla naměřena hodnota $R_s = 22,12 \Omega$ a u budícího vinutí $R_b = 2,37 \Omega$.

B. Měření naprázdno a nakrátko

Měření byla provedena na jednom stroji, a to v generátorickém režimu. Při měření naprázdno byly satorové svorky generátoru odpojeny a z osciloskopu RIGOL DS 1074 B byla odečtena hodnota fázového napětí při dané hodnotě budícího proudu. Při měření nakrátko bylo postupováno obdobně jako u měření naprázdno. Satorová svorkovnice byla vyzkratovaná a byly odečteny hodnoty satorového proudu za pomoci proudových sond při odpovídajících hodnotách budícího proudu. Dále byla ze získaných hodnot spočtena podélná nesyčená synchronní reaktance $X_d = 199 \Omega$ a účinnost stroje $\eta = 64 \%$.

C. Oteplovací zkouška při jmenovitém zatížení

Synchronní soustrojí bylo uvedeno do provozu a po dobu jedné hodiny zatíženo ohmickou zátěží $3x R = 190 \Omega$ zapojenou do hvězdy. Při měření byly sledovány proudy

a napětí, aby nedošlo k překročení mezních hodnot. Termokamerou byly snímány vybrané části stroje, zdali se nepřehřívají. Dále bylo pozorováno, jestli soustrojí nevykazuje známky mechanického či jiného poškození, případné uvolnění částí soustrojí.

VI. ZÁVĚR

Bylo navrženo a zkonstruováno plně funkční soustrojí. Finální uspořádání je znázorněno na Obrázku III. Ve srovnání s předběžným návrhem (Obrázek I) jsou patrné drobné konstrukční úpravy. Soustrojí bylo sestaveno ze dvou totožných synchronních motorů s vyniklými póly. Na soustrojí byly provedeny základní zkoušky a měření parametrů náhradního schématu. Rozdíl satorového odporu mezi měřením a výpočtem nepřesáhl 5,5 % a u podélné synchronní reaktance činil 11 %. Tyto odchylky jsou způsobeny rozdílem mezi spočítanou a skutečnou délkou čel.



Obrázek III. Foto synchronního soustrojí

Podle provedených zkoušek je soustrojí plně funkční a připraveno k bezpečnému provozu. V současné době je umístěno v laboratořích Katedry elektrotechniky a výkonové elektroniky na Západočeské univerzitě, kde bude sloužit jako pomůcka pro výuku předmětů Elektrické stroje a Konstrukce elektrických strojů.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2018-005 a projektu SGS-2018-009: Výzkum a vývoj perspektivních technologií v elektrických pohonech a strojích III.

- [1] Kopylov, I. P. et al.: *Stavba elektrických strojů*. SNTL, Prague, 1988. ISBN 04-531-88.
- [2] Müller, G., Vogt, K., Ponick, B., *Berechnung elektrischer Maschinen*. Weinheim, Germany: Wiley-Vch, 2007. ISBN 978-3527405251.
- [3] Pyrhonen, J., Jokinen, T., Hrabovcova, V., *Design of rotating electrical machines*. Second edition. Chichester, West Sussex, United Kingdom: Wiley, 2014. ISBN 9781118701621.