



Národní konference s mezinárodní účastí
INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2002

13. – 16. 5. 2002, Svratka, Česká republika

STARTÉRGENERÁTORY V OSOBNÍCH AUTOMOBILECH

Dalibor Červinka¹

Abstrakt:

Článek se zabývá problematikou sdružení funkce startéru a alternátoru do jediného stroje, tzv. startérgenerátoru přímo na klikovém hřídeli spalovacího motoru (bez převodu). Napěťová napájecí hladina palubní sítě je 36/42V. V článku jsou vymezeny elektromechanické požadavky na systém a rozebrány systémové možnosti řešení. Dále je popsáno konkrétní realizované řešení se synchronním strojem prezentováno poznatky jak o asynchronní, tak především o synchronní variantě, získané na základě praktických zkoušek obou řešení.

Klíčová slova:

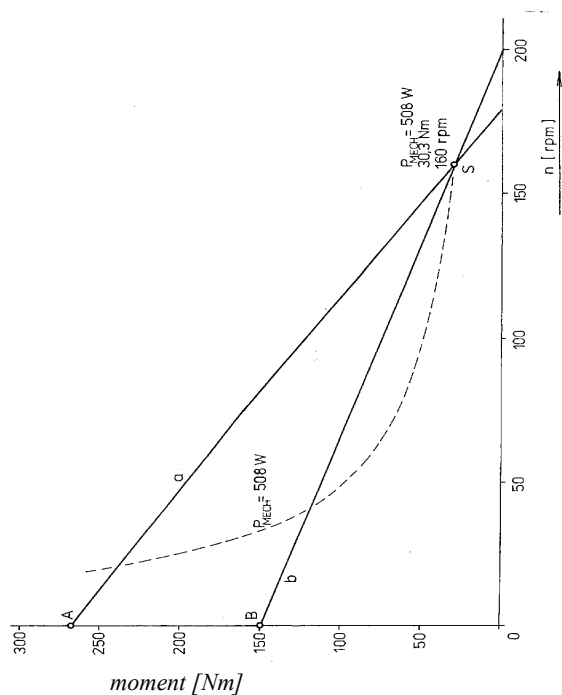
Startérgenerátor, synchronní stroj, asynchronní stroj, účinnost, startovací moment

1. POŽADAVKY NA STARTÉRGENERÁTOR

1.1. režim startu

Na obr. 1.1. je zakreslena momentově-otáčková charakteristika běžného současného startéru MAGNETON 1kW s permanentními magnety (křivka *a*) a požadovaná momentově-otáčková charakteristika navrhovaného startérgenerátoru v režimu startu (křivka *b*). Ta byla stanovena na základě předchozích rozborů. Moment i otáčky se týkají přímo klikového hřídele spalovacího motoru.

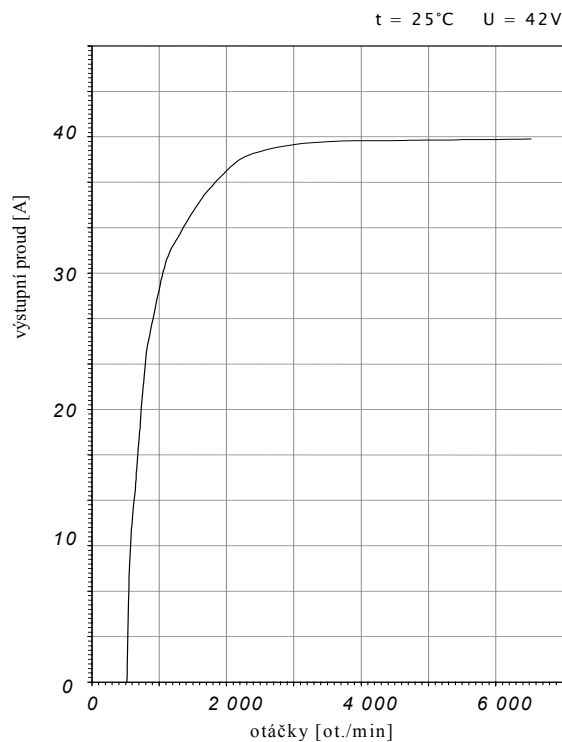
¹ Dalibor Červinka, Ing. UVEE FEKT VUT Brno Technická 8, 616 00 cervinka@feec.vutbr.cz



Obr. 1.1. Momentově-otáčková charakteristika startéru MAGNETON 1kW (křivka a) a navrhovaného startérgenerátoru (křivka b)

1.2. generátorický režim

Na obr. 1.2. je zakreslena požadovaná závislost dobíjecího proudu na otáčkách klikového hřídele. Při použití napěťové hladiny 36/42V je požadovaný jmenovitý dobíjecí proud pouze 40A. Maximální předpokládané otáčky klikového hřídele jsou asi 6000ot./min.



Obr. 1.2. Požadovaná závislost dobíjecího proudu na otáčkách klikového hřídele

1.3. rozměrové požadavky

Vnější průměr stroje: max. 280mm
Osová délka (šířka) stroje: max. 95mm

2. VOLBA TYPU ELEKTRICKÉHO STROJE

2.1. Asynchronní varianta

Pro měření byl použit standardní stroj s obvyklými geometrickými proporcemi, v krytém provedení (MEZ). Předpokládáme totiž v první fázi vývoje asynchronního startergenerátoru použití právě standardního a tudíž levně dostupného stroje. Bude nutné pouze změnit napěťově-proudové poměry tj. převinout stroj. Tato změna však nemá žádný vliv na dosažitelný moment stroje a na zastoupení jednotlivých ztrát.

Byly provedeny zkoušky, jejichž účelem bylo zjistit potřebnou typovou velikost asynchronního motoru poskytující požadovaný moment při dodržení podmínky únosného tepelného namáhání. Byly vyzkoušeny všechny kombinace skluzové frekvence a sycení tak, aby bylo dosaženo maximálního momentu. Při typové velikosti 3kW čtyřpólového stroje byl krátkodobý maximální změřený moment 160Nm. Pokud však bereme v úvahu povolené tepelné namáhání vinutí statoru a rotoru, je realistický moment asi 70Nm. Závěrem lze říci, že asynchronní varianta je v zásadě schůdná, budeme-li však ochotni respektovat horší účinnost nebo větší rozměry oproti dále realizované variantě synchronní. Tato námi zjištěná účinnost se ještě zhorší, byl-li by asynchronní stroj proveden jako krátký a velkopřůměrový, stejně jako následující synchronní vzorek. Momentově-proudové poměry jsou totiž u klasického tvaru asynchronního motoru optimální a jakákoliv změna tvaru má vždy špatný vliv na účinnost. Je to způsobeno optimálním poměrem aktivní délky vinutí k délce čel vinutí u klasického tvaru stroje.

2.2. Synchronní varianta

Jediná použitelná koncepce umožňující dosáhnout požadovaný záběrný moment (150Nm) při daných náročných rozměrových požadavcích je však synchronní stroj s buzením permanentními magnety na bázi vzácných zemin.

Konstrukce stroje je optimalizována na použití jako tzv. třífázový EC-motor. Koncepce EC-motoru je pro účely startérgenerátoru výhodná, protože zjednodušuje značně konstrukci měniče (oproti stroji harmonickému) a umožňuje dosáhnout lepších momentově-proudových poměrů.

Vnější průměr statoru	280 mm
Průměr rotoru	200 mm
Šířka statorového svazku	40 mm
Osová délka (šířka) stroje	cca 80 mm
Permanentní magnety	NdFeB
Hmotnost statorového svazku plechů	6,1 kg
Hmotnost stroje (bez ložiskových štítů)	cca 20 kg

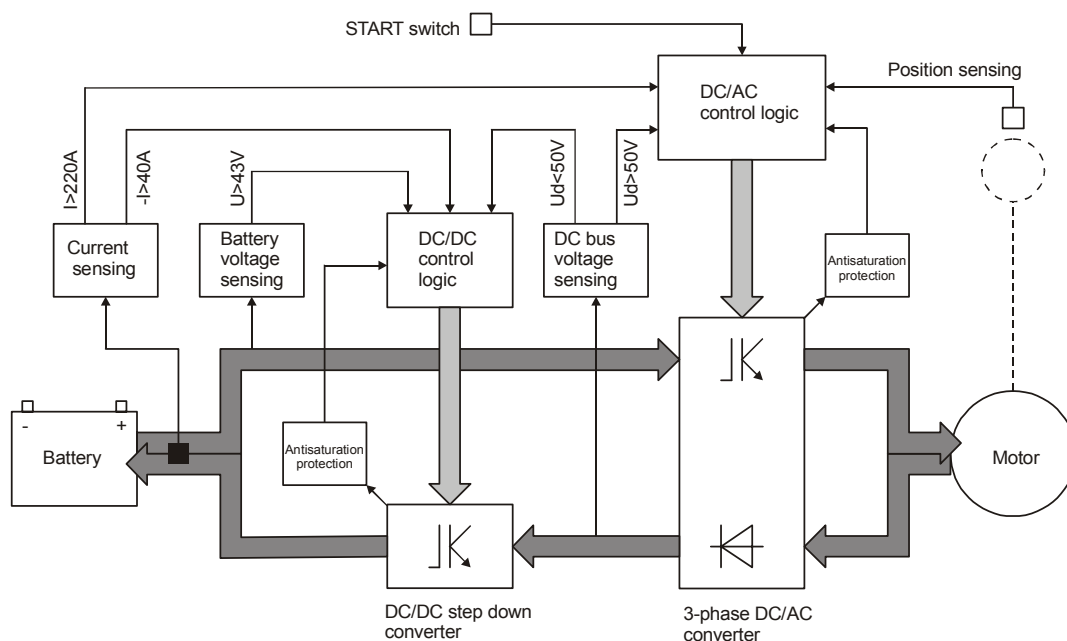
Tab. 2.1. Základní konstrukční údaje stroje

3. ELEKTRONICKÉ OBVODY STARTÉRGENERÁTORU

Blokové schéma celého systému startergenerátoru je na obr. 3.1. Silový obvod je představován bloky DC/DC converter a DC/AC converter. Další bloky tvoří obvody řídicí elektroniky.

Po dobu stisku startovacího tlačítka umožňujeme elektrickému stroji pracovat v režimu startu. Dokud přitom nedojde k nastartování spalovacího motoru, pracuje systém stále v režimu startu. Stroj je napájen z DC/AC měniče. Zvýší-li se otáčky nad cca 560ot./min po nastartování spalovacího motoru, přejde systém automaticky do generátorického režimu a začne pracovat DC/DC měnič pro dobíjení baterie. Okamžik přepnutí do generátorického režimu je odvozen od indukovaného napětí stroje (resp. od ss. napětí meziobvodu).

Spínání tranzistorů DC/AC měniče v generátorickém režimu je již teoreticky zbytečné, neboť indukované napětí stroje je vyšší než napětí baterie a tranzistorům tak není umožněno vést proud. Ten vedou pouze nulové diody měniče tvořící šestipulsní usměrňovač. Na zařízení je pomocí jumperu možno nastavit buď zablokování spínání tranzistorů po přechodu do generátorického režimu nebo pokračovat v jejich spínání. Možnost pokračovat ve spínání může být využita v případě nerovnoměrnosti rychlosti otáčení jako elektromagnetický tlumič této nerovnoměrnosti. Tato možnost bude předmětem dalšího výzkumu.



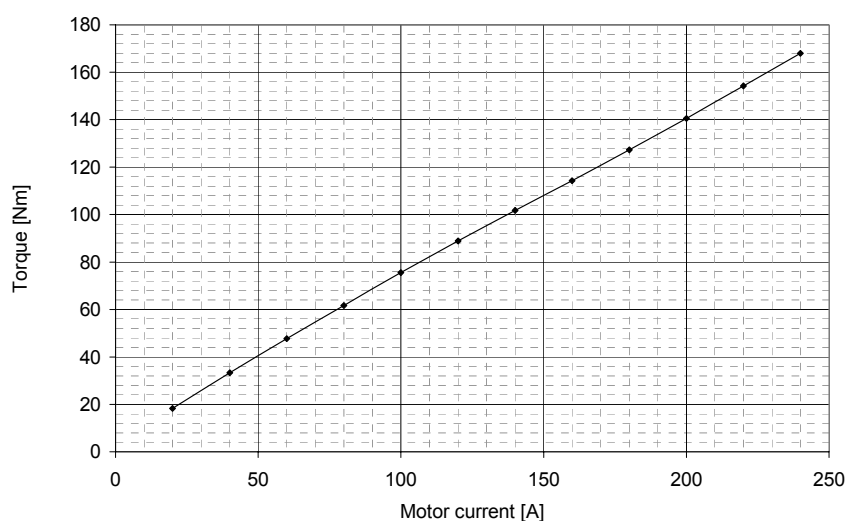
Obr. 3.1. Blokové schéma systému startergenerátoru

4. VÝSLEDKY MĚŘENÍ NA FUNKČNÍM VZORKU

a) měření statického momentu stroje

Podrobně byla změřena závislost statického záběrového momentu na velikosti proudu a na zátěžném úhlu v rozmezí 180° elektrických tj. 36° mechanických. Ve výsledné závislosti byla nalezena užitečná úhlová pracovní oblast o šířce 60° el. (mezi dvěma po sobě následujícími komutacemi), v níž je moment stroje nejvyšší. V ní pak bylo odečteno minimum momentu v závislosti na proudu. Tím byla získána závislost minimálního zaručeného statického momentu stroje na proudu, viz. obr. 4.1.

Z obr. 4.1. je možno odečíst, že záběrného momentu 150Nm je dosaženo při proudu cca 215A . Závislost byla proměřena až do proudu 240A a je v tomto rozsahu téměř lineární. Škodlivý vliv reakce kotvy je tedy potlačen tak, že má stroj určitou momentovou rezervu. To je výhodné kvůli dosažení požadovaného momentu 150Nm při minimálním možném proudu (a s daným počtem závitů).



Obr. 4.1. Závislost statického momentu stroje v užitečné úhlové pracovní oblasti na proudu

b) dynamická měření v režimu startu

Měření bylo provedeno při napájení systému ze stejnosměrného zdroje napětí 36V a 24V s téměř nulovým vnitřním odporem a poté bylo provedeno měření při napájení olověnou baterií $36\text{V}/14\text{Ah}$ VARTA a to při teplotách $+22^\circ\text{C}$ a -27°C . Stručné shrnutí výsledků udává tab. 4.1.

Způsob napájení	Záběrný moment (při 0ot./min)	Stř. proud baterie při 0ot./min	Nejvyšší střední proud baterie	Protáčetí otáčky (M=30Nm)
Zdroj 36V	156Nm	137A	190A	360ot./min
Zdroj 24V	154Nm	200A	200A	240ot./min
Bat.36V/12Ah 22°C	150Nm	200A	200A	350ot./min
Bat.36V/12Ah -27°C	126Nm	170A	170A	330ot./min

Tab. 4.1. Výsledky dynamických měření v režimu startu

Je vidět, že ve všech uvedených případech s výjimkou baterie o teplotě -27°C byl zadaný průběh momentově-otáčkové charakteristiky splněn s dobrou rezervou. Při teplotě baterie -27°C bylo dosaženo záběrového momentu jen 126Nm. Při tomto měření byla ovšem počáteční teplota stroje 20°C . V reálné situaci s teplotou stroje rovněž -27°C by díky poklesu odporu vinutí byly výsledky poněkud příznivější. I tak se však jedná o uspokojivý výsledek.

c) měření dobíjecí charakteristiky v generátorickém režimu

Z výsledků měření je patrné, že počátek nabíjení nastává při otáčkách 480ot./min a průběh nabíjecí charakteristiky leží s rezervou nad zadanou hraniční křivkou. Plného jmenovitého proudu 40A lze dosáhnout už při otáčkách cca 700ot./min.

d) měření účinnosti DC/DC měniče pro generátorický režim

Při tomto měření byl stroj nahrazen zdrojem proměnného napětí v rozsahu od 50 do 400V, čemuž odpovídají otáčky stroje v rozsahu asi od 660 do 5330 ot./min. Měření bylo provedeno při různých hodnotách výstupního dobíjecího proudu. Regulátor výstupního napětí byl nastaven na hodnotu 42V. Výsledky měření potvrzují předpoklad, že účinnost měniče se zvyšuje se zvyšováním výstupního dobíjecího proudu. V závislosti na otáčkách pak dosahuje optima v rozmezí otáček 1300 až 3500ot./min. To je vzhledem k reálnému provozu spalovacího motoru výhodné. Při proudu 40A se v daném otáčkovém rozsahu účinnost pohybuje v rozmezí 88 až 90%. V nejméně příznivém případě s malým výstupním proudem a vysokými otáčkami je účinnost asi 76%.

5. ZÁVĚR

Celé systémové řešení startérgenerátoru bylo podřízeno základní myšlence bezesbytku splnit požadavky zadání v těchto čtyřech bodech: geometrické rozměry stroje, záběrový moment při startu, protáčecí otáčky při startu a průběh nabíjecí charakteristiky. V nejbližším dalším vývoji bude věnována pozornost minimalizaci ztrát v železe statoru stroje v generátorickém režimu.

Pozn.: Projekt byl řešen za podpory grantu GAČR č. 102/00D013 „Výzkum výkonových elektrických bezkartáčových pohonů na malé napětí pro automobilovou techniku“.

6. LITERATURA

- [1] Freise W.: Motorová vozidla s hybridními pohony. ELEKTRO, 1996, č. 7, str.228.
- [2] „Průlom v technice pohonu automobilů.“ Technický týdeník, 1999, č. 39, str.14.