

# Electromechanical Battery Mass Minimization, Taking into Account its Electrical Machines Rotor Energy

Andrejs Podgornovs (Riga Technical University- RTU) and Antons Sipovichs (RTU)

**Keywords** – Design, Electrical generator, Energy storage, Flywheel system.

## I. INTRODUCTION

Energy can be accumulated in different ways, each of them has advantages and disadvantages, and it is possible to store energy in the rotating mass.

## II. ELECTROMECHANICAL BATTERY

Electromechanical battery store energy in the kinetic form, the storage applications battery is a rotating disk – flywheel. There are various flywheel designs, as well as a wide range of materials. For the charging the flywheel with energy and for discharging process is necessary to use electrical machine, in the charging process this machine is working in motor mode, and in the discharge process, it serves as a generator.

Some flywheel energy storage application consists of one electrical machine, which is integrated in to the flywheel or on the contrary, flywheel is into the electrical machine [1]. Sometimes there is possible to use standard electrical machine with flywheel on the common shaft [2], or with specially designed electrical machine [3], in the first variant maximal rotor stored energy can be calculated, in second variant it is necessary to search electrical machine and flywheel stored energy ratio, it is a goal of this paper.

## III. ROTOR ENERGY

The main component of different types of electromechanical battery EMB is electrical machine, common equation of battery mass (2)

$$m_{EMB} = m_{SP} + m_{MA}, \quad (2)$$

where  $m_{EMB}$  – mass of EMB, kg,  $m_{SP}$  – flywheel mass, kg,  $m_{MA}$  – electrical machines mass, kg [5]- in the full version (f.v.). Flywheel mass equation (3),

$$m_{SP} = \frac{4W}{\eta_{izl} (R_{SP} \omega_1)^2 (1 - \omega_{2*}^2)}, \quad (3)$$

where  $W$  – quantity of energy, J, that can be taken (or loaded) from the spinning disk, if the relative minimal rotation speed in the end of the discharge process is  $\omega_{2*}$ ,  $\eta_{izl}$  - efficiency coefficient of discharge process,  $R_{SP}$  – flywheel radius, m,  $\omega_1$  - maximal angular velocity of EMB,  $\omega_{2*} = \omega_2 / \omega_1 = (\omega_1 - \Delta\omega) / \omega_1$  [4]. The mass of electrical machine is calculated using classical design equations, and as example will be described synchronous machine with electromagnetic excitation. This type of electrical machines can provide voltage regulation in the discharge mode, when angular velocity drops down, by increasing excitation current the output voltage can be closely to nominal value. To find mass of electrical machine is necessary to find  $D_1$  internal stator diameter and  $l_1$  stator length, the main relationship between machines dimensions, and electrical and magnetic parameters can be expressed through Arnolds machinery

constant, it is using simple calculation method, without rotor stored energy.

Kinetic energy stored in electrical machine rotor -  $W_{rot}$ , depends on discharge process power, process duration, and quantity of energy, to determine  $W_{rot}$  is necessary to find electrical machine geometrical dimensions going through accurate and standard design calculation process, this is second calculation method. There group of limiting factors through calculation process are stator and rotor yoke flux density, stator tooth flow density,  $l_1$ ,  $D_1$  and their ratio  $\lambda$ . To calculate all design combinations and variants of electrical machine, a calculation program was created.

From two calculation methods comparison analysis (Fig.4), it is clear that rotor energy do not give positive result.

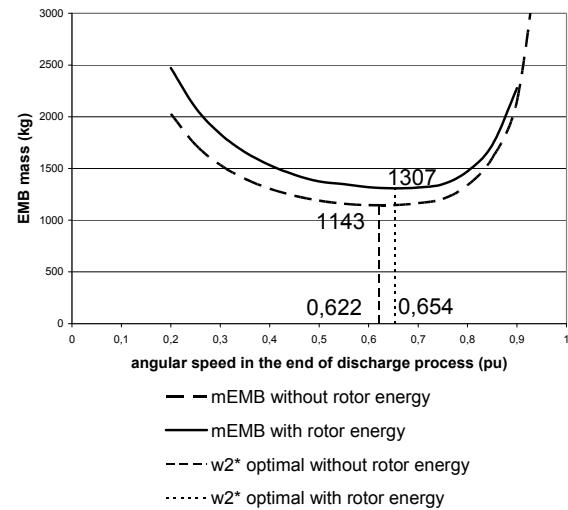


Fig. 4. Calculation methods comparison analysis

Simple calculation equations (3), (4)-in (f.v.), (5)-in (f.v.) calculated optimal  $\omega_{2*}$  not equal to the optimal  $\omega_{2*}$  calculated through the accurate design process. As the positive result of taking into account the electrical machine rotor kinetic energy, is that  $\omega_{2*}$  is increased, it means that it will be reduced excitation system, which is designed for minimal angular velocity, in the end of the discharge process.

Taking into account  $W_{rot}$ , we can increase minimal rotations speed and in this way to reduce electrical machine mass and increase flywheel mass (2), it provides EMB cost reduction.

## REFERENCES

- [1] Superior flywheel energy storage solutions “VYCON flywheel technology” Available: <http://www.vyconenergy.com> [Accessed: Jun. 21, 2010]
- [2] “ENERCON wind-diesel and stand-alone systems self-sufficient power stations using wind energy” Available: <http://www.enercon.de> [Accessed: Jun. 22, 2010]
- [3] Power Bridge PILLER, Available: <http://www.piller.com> [Accessed: Jun. 22, 2010]

# Elektromehāniskā akumulatora masas minimizācija, ņemot vērā elektriskās mašīnas rotora enerģiju

Andrejs Podgornovs (Riga Technical University - RTU) and Antons Sipovichs (RTU)

*Atslēgvārdi (angl.)* – Design, Electrical generator, Energy storage, Flywheel system.

## I. IEVADS

Šajā rakstā ir apskatīta akumulatoru elektromehāniskās masas samazināšanas iespēja, aprēķinos ņemot vērā rotorā uzkrātās elektriskās mašīnas kinētisko enerģiju.

## II. ELEKTROMEĀNISKĀ BATERIJA

Elektromehāniskie akumulatori uzkrāj kinētisko enerģiju, enerģijas nesējs ir rotējošais spararats. Dažās iekārtās spararats jau ir integrēts elektriskās mašīnas rotorā, vai otrādi, tā ir spararatā [1]. Daži avoti dod informāciju par standarta konstrukcijas elektriskās mašīnas izmantošanu [2], citi avoti, gluži otrādi, izmanto speciālas elektriskās mašīnas, kuras ir konstruētas uzkrāšanai speciālā darba režīmā [3].

## III. ROTORA ENERĢIJA

Kinētiskās enerģijas uzkrājēja galvenā komponente ir elektriskā mašīna, visa kompleksa summāra masa (2)

$$m_{EMB} = m_{SP} + m_{MA}, \quad (2)$$

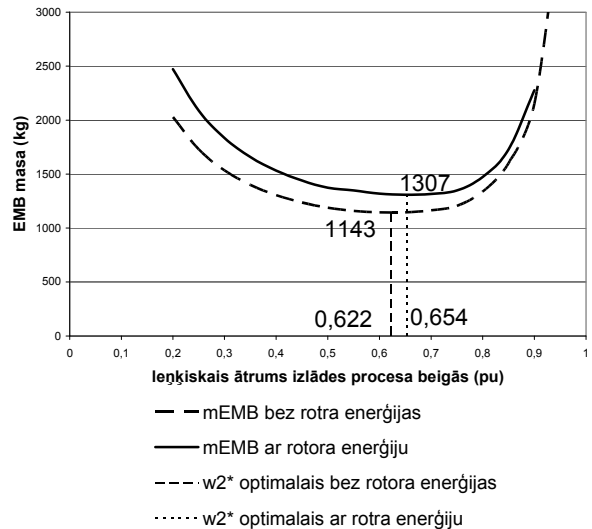
kur  $m_{EMB}$  – uzkrājēja masa, kg,  $m_{SP}$  – spararata masa, kg,  $m_{MA}$  – elektriskās mašīnas masa, kg [5]- pilnajā versijā (p.v.). Spararata masas vienādojums (3),

$$m_{SP} = \frac{4W}{\eta_{izl}(R_{SP}\omega_1)^2(1-\omega_{2*}^2)}, \quad (3)$$

kur  $W$  – enerģijas daudzums, J, kuru var dabūt (vai uzkrāt) no rotējošā diska, ja relatīvais rotācijas ātrums izlādes procesa beigās vai uzlādes procesa sākumā ir  $\omega_{2*}$ ,  $\eta_{izl}$  - izlādes procesa lietderības koeficients,  $R_{SP}$  – spararata rādiuss, m,  $\omega_1$  - maksimālais rotācijas ātrums, gadījumam, kad uzkrāta maksimālā enerģija,  $\omega_{2*} = \omega_2 / \omega_1 = (\omega_1 - \Delta\omega) / \omega_1$ . Lai noteiktu elektromehāniskā pārveidotāja masu, var izmantot vienkāršotas aprēķina formulas, par piemēru tika ņemta sinhronā elektriskā mašīna. Tas galvenā priekšrocība ir izejas sprieguma regulēšana, kas saistīta ar diezgan lielu rotācijas ātruma izmaiņu izlādes–uzlādes procesā. Lai noteiktu mašīnas masu, ir jānosaka:  $D_1$  statora iekšējais diametrs,  $l_1$  statora garums, tam var izmantot Arnolda vienādojumu, iepriekš pieņemot elektromagnētiskās slodzes vērtības elektriskās mašīnas sistēmai; šāda tipa aprēķinu sauc par vienkāršotu, sakarā ar to, ka tas nedod iespēju noteikt rotora ģeometriskos parametrus, lai aprēķinātu rotora inerces momentu.

Rotora lietderīga kinētiskā enerģija -  $W_{rot}$ , ir atkarīga no izlādes jaudas, izlādes ilguma, enerģijas daudzuma, kuru var saglabāt uzkrājējs, lai noteiktu  $W_{rot}$ , jāzina precīza rotora ģeometrija, jāveic precīzu aprēķinu. Tā ir precīza metode, kura dod iespēju noteikt rotorā uzkrāto enerģijas daudzumu. Veicot aprēķinu, izmantojām limita grupu: statora un rotora jūgu indukcijas, statora zobu indukcijas,  $l_1$ ,  $D_1$  tas attiecība  $\lambda$ , t. Lai paātrinātu aprēķina procesu, tika izveidota aprēķina datorprogramma.

Divu metožu analīzei dota to rezultātu grafiskā interpretācija (4. att.). Galvenais rezultāts - rotora enerģijas ievērošana nedod uzkrājēja masas samazinājumu.



4. att. Divu metožu analīze.

Vienkāršie vienādojumi (3), (4)- (p.v.), (5)- (p.v.) un ar tiem iegūtie  $\omega_{2*}$  rezultāti nesakrīt ar precīza aprēķina rezultātiem  $\omega_{2*}$ . Par pozitīvo rezultātu no precīza aprēķina var nosaukt  $\omega_{2*}$  palielināšanu, kas stipri ietekmē elektriskās mašīnas ierosmes sistēmu, kuru aprēķina uz minimālu rotācijas ātrumu izlādes procesa beigās.

## LITERATŪRA

- [1] Superior flywheel energy storage solutions “VYCON flywheel technology” Available: <http://www.vyconenergy.com> [Accessed: Jun. 21, 2010]
- [2] “ENERCON wind-diesel and stand-alone systems self-sufficient power stations using wind energy” Available: <http://www.enercon.de> [Accessed: Jun. 22, 2010]
- [3] Power Bridge PILLER, Available: <http://www.piller.com> [Accessed: Jun. 22, 2010]

# Минимизация массы электромеханического аккумулятора с учётом запасённой энергии в роторе электрической машины

Andrejs Podgornovs (Riga Technical University- RTU) and Antons Sipovichs (RTU)

**Ключевые слова (англ.)** – Design, Electrical generator, Energy storage, Flywheel system.

## I. ВВЕДЕНИЕ

В статье рассмотрен один из видов накопителей – электромеханический аккумулятор, в состав которого входит электрическая машина и маховик.

## II. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ БАТАРЕЯ

Электромеханические накопители хранят энергию в кинетической форме, накопителем является вращающийся маховик.

Некоторые установки в своём составе имеют интегрированный в ротор электрической машины маховик, или наоборот электрическая машина внутри маховика [1]. Некоторые источники указывают на использование стандартной электрической машины [2], другие наоборот используют машину специально разработанную [3] под режим работы инерционного накопителя.

## III. ЭНЕРГИЯ РОТОРА

Главная часть инерционного накопителя электромеханический преобразователь, уравнение суммарной массы накопителя (2)

$$m_{EMB} = m_{SP} + m_{MA}, \quad (2)$$

где  $m_{EMB}$  – масса накопителя, kg,  $m_{SP}$  – масса маховика, kg,  $m_{MA}$  – масса электрической машины, kg [5]- в полной версии (п.в.). Уравнение массы маховика (3),

$$m_{SP} = \frac{4W}{\eta_{izl} (R_{SP} \omega_1)^2 (1 - \omega_{2*}^2)}, \quad (3)$$

где  $W$  – количество энергии, J, которое можно снять (или сохранить) с вращающегося диска, если относительная скорость вращения в конце разрядного цикла  $\omega_{2*}$ ,  $\eta_{izl}$  - кпд разрядного процесса,  $R_{SP}$  – радиус маховика, m,  $\omega_1$  - максимальная угловая скорость вращения,  $\omega_{2*} = \omega_2 / \omega_1 = (\omega_1 - \Delta\omega) / \omega_1$  [4]. Масса электрической машины определяется классическими уравнениями проектирования, для примера будет рассмотрена синхронная электрическая машина с электромагнитным возбуждением. Главным достоинством машины является возможность поддержания выходного напряжения, при уменьшающихся оборотах при разряде накопителя. Для определения массы машины необходимо знать  $D_1$  внутренний диаметр статора и  $l_1$  его длину, для этого можно использовать классическую формулу Арнольда, это так называемый упрощённый способ, без учёта энергии ротора, так как он не даёт возможности рассчитать размеры ротора.

Полезная энергия ротора -  $W_{rot}$ , зависит от разрядной мощности, длительности разрядного процесса, объёма энергии, чтобы определить  $W_{rot}$  необходимо знать точную геометрию ротора, производя точный расчёт, это является вторым – точным методом, который учитывает энергию ротора. Существует группа ограничений: индукция ярма ротора и статора, индукция зубцов статора,  $I_1$ ,  $D_1$  их пропорция  $\lambda$ , они участвуют в процессе расчёта. Для пересчёта всех возможных вариантов была использована программа, написанная авторами.

Анализ результатов двух вышеописанных методов показан на (Рис.4), главный результат – учёт энергии ротора не даёт уменьшения массы накопителя.

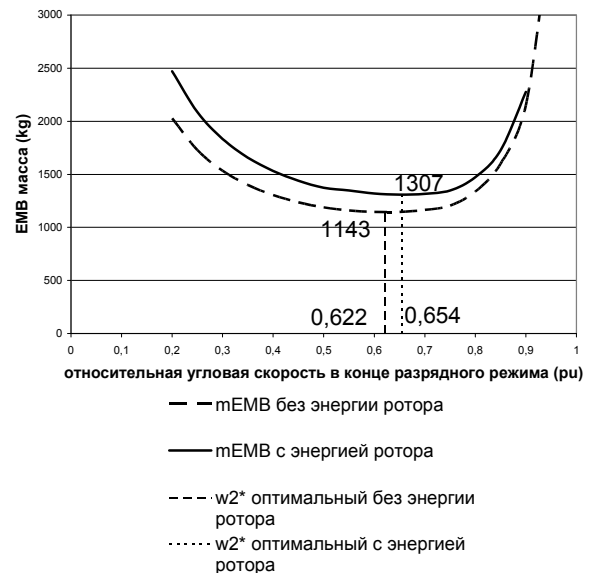


Рис. 4. Анализ результатов двух вышеописанных методов

Простые выражения (3), (4)-в (п.в.), (5)-в (п.в.) и полученное с их помощью значение  $\omega_{2*}$  не совпадает со значением  $\omega_{2*}$  точного расчёта электрической машины. Положительным результатом при точном расчёте с учётом роторной энергии можно считать увеличение  $\omega_{2*}$ , что уменьшает систему возбуждения ротора, которая проектируется из значения минимальной скорости вращения в конце разрядного режима.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Superior flywheel energy storage solutions “VYCON flywheel technology” Available: <http://www.vyconenergy.com> [Accessed: Jun. 21, 2010]
- [2] “ENERCON wind-diesel and stand-alone systems self-sufficient power stations using wind energy” Available: <http://www.enercon.de> [Accessed: Jun. 22, 2010]
- [3] Power Bridge PILLER, Available: <http://www.piller.com> [Accessed: Jun. 22, 2010]