

# The Formula Synthesis of The Maximal Mechanical Torque on The Volume for a Cylindrical Magnetic Coupler

Baiba Ose-Zala (*Riga Technical University*), Oskars Onzevs (*Turība*)  
and Vladislav Pugachov (*Institute of Physical Energetics*)

**Keywords** – Design, finite element analysis, formula synthesis, magnetic device, magnetic field.

## I. INTRODUCTION

A magnetic coupler (MC) is a mechanism that is used to transfer the mechanical torque without contact of both half couplings, using attraction and repulsion forces from permanent magnets placed on the half couplings.

Main design parameters for a cylindrical MC in cross-section are given in Fig. 1. Three more parameters are used as design parameters: the axial length  $l$ , the pole pair number  $p$  and the proportionality coefficient  $\beta$ .

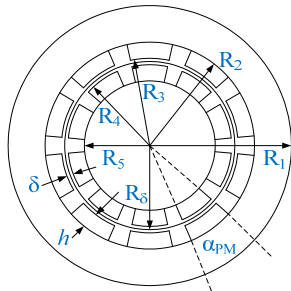


Fig. 1. Dimensions of cylindrical magnetic coupler in a cross-section.  
 $R_1$ - $R_5$  – radiuses;  $R_6$  – radius of airgap’s middle circle ;  $\delta$  - airgap;  $h$  – PMs height;  $\alpha_{PM}$  – angle of PM.

In this paper an experiment plan was made, obtaining multivariate experimental data [1], which were analyzed and from which formulas were synthesized. The most suitable formula from the synthesized data was chosen and the formula was tested on variants that are between the variants of experiment plan.

From experiments there such variables were analyzed: permanent magnets’ height  $h$  (with values in millimetres – 6, 6.5, 7, 7.5, and 8), proportionality coefficient  $\beta$  (with values – 0.7, 0.8, and 0.9) and axial length  $l$  (with values in millimetres – 30, 32, 34, 36, 38). The goal function is a division of maximal mechanical torque on the volume.

## II. THE FORMULA SYNTHESIS

The program for formula synthesis was written by *Dr.sc.eng.* Oskars Onzevs. The formula synthesis was based on regression models [5] (f.v.).

## III. SYNTHESIS FOR CHOSEN INDEPENDENT VARIABLES

First synthesis for three variables: proportionality coefficient  $\beta$ , axial length  $l$  and PM’s height  $h$  was made. When the relevance for  $M_{max}/V = f(\beta, l, h)$  was studied the axial length was not an independent variable. That shows up also in the synthesized formulas, where just independent variables: coefficient  $\beta$  and PM’s height  $h$  were used. It one formula (f.v. 9) was chosen out of five to compare with results, when in the

program data by two variables are given. The graphs for this formula and real experiment’s data at different PMs’ height (6, 6.5, 7, 7.5 and 8 mm) by coefficients  $\beta = 0.7$ ,  $\beta = 0.8$  and  $\beta = 0.9$  show that the difference for all coefficient cases is enough high, calculating in percentage – middle difference is for 20%. That is not acceptable. Further synthesis by two independent variables was made. From six given formula variants one was chosen (f.v. 10) to describe the goal function – maximal mechanical torque on volume (f.v. Fig. 6). For this formula the difference from experiment data is till ten per cents, however the middle value of error is just four per cents, which is acceptable.

Also for control parameters – yoke height  $h_{yoke}$ , maximal magnetic flux density in inner half coupling  $B_{max in}$  and in outer half coupling  $B_{max out}$  – formulas were synthesized, from which one was chosen and the results were compared to the experimental data. The formulas gave linear relevance, what is similar to yoke height  $h_{yoke}$ , but not similar for the magnetic flux densities.

## IV. TESTING THE CHOSEN FORMULAS

There were thirteen additional experiments made to check, how the formulas behave for variants, which are between the given ones. The additional variants were made in such principle:

- 1) The proportionality coefficients  $\beta$  were left as given for synthesis and just the permanent magnets’ height  $h$  was changed;
- 2) The PM’s heights  $h$  were left as given for synthesis and changed just with the proportionality coefficient  $\beta$ ;
- 3) Both variables in values, which were not given by synthesis, were changed.

## V. CONCLUSIONS

From experimental data one can observe, that the highest value of main function – maximal mechanical torque on volume – is proportionally coefficient equal  $\beta = 0.7$ , by more higher permanent magnets ( $h = 8$  mm) and, of course, by longest axial length  $l$ . These three variables are independent for researching the value of maximal torque, but, when it is researched the relevance for  $M_{max}/V$ , the axial length  $l$  is not independent, because it is included in the volume calculation.

Giving data for two independent variables from the six synthesized formulas one can choose a formula, which describes the relevance very well,  $M_{max} = f(h, \beta)$ .

The research and formula synthesis must be continued.

## REFERENCES

- [1] J. F. Hair jr., W. C. Black, B. J. Babin and R. E. Anderson, Multivariate data analysis, 7th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2010. 762 p.
- [2] В. О. Эглайс, Аппроксимация табличных данных многомерным уравнением регрессии. Вопросы динамики и прочности. Рига, 1981. Вып. 39, с. 120.-125.

# Maksimāla mehāniskā momenta pret tilpuma formulu sintēze cilindriskam magnētiskajam sajūgam

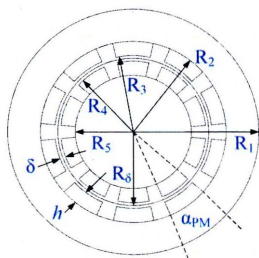
Baiba Ose-Zala (Riga Technical University), Oskars Onzevs (Turība)  
and Vladislav Pugachov (Institute of Physical Energetics)

**Atslēgvārdi (angl.)** – Design, finite element analysis, formula synthesis, magnetic device, magnetic field.

## I. IEVADS

Magnētiskais sajūgs (MS) ir iekārta, kuru izmanto mehāniskā momenta pārvadei bez abu pussajūgu kontakta, izmantojot pastāvīgā magnēta pievilksnās un atgrūšanās spēkus, ievietotus pussajūgos.

Cilindriska MS galvenie parametri šķēsgriezumā ir parādīti 1.att. Vēl trīs parametri ir izmantojami kā dizaina parametri: aksiālais garums  $l$ , polu pāru skaits  $p$  un proporcionalitātes koeficients  $\beta$ .



1.att. Cilindriskā magnētiskā sajūga izmēri šķēsgriezumā.  
 $R_1$ - $R_6$  – rādiusi;  $R_\delta$  – gaisa spraugas vidējās aploces rādiuss;  $\delta$  – gaisa sprauga;  $h$  – PM augstums,  $\alpha_{PM}$  – PM leņķis.

Šajā darbā ir uzrakstīts eksperimentāls plāns, iegūti multivariālie eksperimentu dati [1], kuri tiek analizēti un ar kuru palīdzību tiek sintezētas formulas, kā arī izvēlēta vispiemērotākā formula no sintezētajām formulām, piedāvātajiem datiem; un formula ir testēta variantiem, kuri ir eksperimenta plāna variantu robežās.

No eksperimenta tiek analizēti sekojošie mainīgie: pastāvīgā magnēta augstums  $h$  (ar vērtībām milimetros – 6, 6.5, 7, 7.5, 8), proporcionalitātes koeficients  $\beta$  (ar vērtībām – 0.7, 0.8, 0.9) un aksiālais garums  $l$  (ar vērtībām milimetros – 30, 32, 34, 36, 38). Funkcijas mērķis ir maksimālā mehāniskā momenta dalīšana ar tilpumu.

## II. FORMULU SINTĒZE

Formulu sintezēšanas programmu ir uzrakstījis inž.zin.dok. Oskars Onzevs. Formulu sintēze ir balstīta uz regresijas modeļa [5].

## III. SINTĒZE IZVĒLĒTAJĒM NEATKARĪGAJĒM MAINĪGAJĒM

Sākumā tika veikta sintēze trim mainīgajiem: proporcionalitātes koeficienta  $\beta$ , aksiālā garuma  $l$  un PM augstuma  $h$ . Tad tika izpētīta sakarība  $M_{max}/V = f(\beta, l, h)$ , kad aksiālais garums ir neatkarīgs mainīgais. Tas arī izpaužas sintezējamā formulā, kur tiek izmantoti tikai neatkarīgie mainīgie: koeficients  $\beta$  un PM augstums  $h$ . Tiek izvēlēta viena formula (9) no piecām, lai salīdzinātu rezultātus, kad

programmā ir ievadīti divu mainīgo dati. Šo formulu grafiki un reālo eksperimentu dati dažādiem PM augstumiem (6, 6.5, 7, 7.5 un 8 mm), koeficientiem  $\beta = 0.7$ ,  $\beta = 0.8$  un  $\beta = 0.9$  rāda, ka starpība visiem koeficientu variantiem ir pietiekami liela, aprēķināta procentos – vidējā starpība 20%. Kas nav pieļaujams. Tālāk tika veikta sintēze diviem neatkarīgiem mainīgajiem. No sešiem piedāvātajiem formulu variantiem tiek izvēlēts viens (10) galīgo funkciju aprakstīšanai – maksimālā mehāniskā momenta attiecība pret tilpumu (6.att.). Šī formula atšķiras no eksperimenta datiem par desmit procentiem, bet kļūdu vidējais lielums ir tikai četri procenti, kas ir pieļaujams.

Tāpat kontrolējamiem parametriem – jūgu augstuma  $h_{voķes}$ , maksimālais magnētiskās plūsmas blīvums iekšējā pussajūgā  $B_{max\ in}$  un ārējā pussajūgā  $B_{max\ out}$  – tika sintezētas formulas, no kurām tika izvēlēta viena un no iegūtie rezultāti salīdzināti ar eksperimentālajiem datiem. Formula izdod lineāro attiecību, kura ir līdzīga jūgu augstumam  $h_{voķes}$ , bet nav līdzīga magnētiskās plūsmas blīvumam.

## IV. IZVĒLĒTĀS FORMULAS TESTĒŠANA

Ir veikti trīspadsmit papildus eksperimenti, lai notestētu, kā uzvedīsies formula variantos, kuri ir starp uzdotajiem. Papildvarianti ir izvēlēti pēc sekojošiem principiem:

- 1) Proporcionalitātes koeficients  $\beta$  paliek kā uzdots sintēzei un mainīts tikai pastāvīgā magnēta augstums  $h$ ;
- 2) PM augstums  $h$  paliek kā uzdots sintēzei un mainīts tikai proporcionalitātes koeficients  $\beta$ ;
- 3) Mainītas abu mainīgo vērtībās, kuras netika uzdotas sintēzē.

## V. SECINĀJUMI

No eksperimenta datiem ir redzams, ka pamatfunkcijas vislielākā vērtība – maksimālais mehāniskais moments pret tilpumu – proporcionalitātes koeficientam vienādam ar  $\beta = 0.7$ , augstākiem pastāvīgiem magnētiem ( $h = 8$  mm) un, protams, vislielākajam aksiālajam garumam  $l$ . Šie trīs mainīgie ir neatkarīgi, pētot momenta maksimālo vērtību, bet pētot attiecību  $M_{max}/V$ , aksiālais garums  $l$  nav neatkarīgs, jo tas ir iekļauts tilpuma aprēķinā.

Uzdotot datus diviem neatkarīgiem mainīgajiem no sešām sintezētajām formulām, var izvēlēties vienu, kura ļoti labi apraksta attiecību  $M_{max} = f(h, \beta)$ .

Pētījumi un formulu sintēze jāturpina..

## LITERATŪRA

- [1] J. F. Hair jr., W. C. Black, B. J. Babin and R. E. Anderson, Multivariate data analysis, 7th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2010. 762 p.
- [2] В. О. Эглайс, Аппроксимация табличных данных многомерным уравнением регрессии: Вопросы динамики и прочности. Рига, 1981. Вып. 39, с. 120.-125.

# Синтез формулы максимального механического момента к объёму для цилиндрической магнитной муфты

Baiba Ose-Zala (Riga Technical University), Oskars Onzevs (Turība)  
and Vladislav Pugachov (Institute of Physical Energetics)

**Ключевые слова (англ.)** – Design, finite element analysis, formula synthesis, magnetic device, magnetic field.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Магнитная муфта (ММ) – это механизм, который используется для передачи механического момента без контакта обоих полусоединений, используя силы притягивания и отталкивания от постоянных магнитов, помещенных в полусоединителях.

Главные параметры дизайна цилиндрического ММ в поперечном сечении даны на рис. 1. Ещё три параметра используются как параметры дизайна: аксиальная длина  $l$ , число пар полюсов  $p$  и коэффициент пропорциональности  $\beta$ .

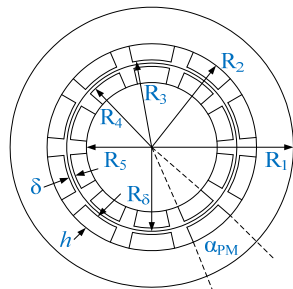


Рис. 3. Размеры цилиндрического магнитного соединителя в поперечном сечении. R1-R5 – радиусы; R $\delta$  – радиус средней окружности воздушного зазора;  $\delta$  – воздушный зазор;  $h$  – высота ПМ;  $\alpha_{PM}$  – угол ПМ.

Из эксперимента проанализированы следующие переменные: высота постоянного магнита  $h$  (с величинами в миллиметрах – 6, 6.5, 7, 7.5, 8), коэффициент пропорциональности  $\beta$  (с величинами – 0.7, 0.8, 0.9) и аксиальная длина  $l$  (с величинами в миллиметрах – 30, 32, 34, 36, 38). Цель функции – выявление отношения максимального механического момента к объёму.

## II. СИНТЕЗ ФОРМУЛЫ

Программа для синтеза формулы написана Оскаром Онзевисом. Синтез формул основан на регрессионной модели [5].

### III. СИНТЕЗ ДЛЯ ВЫБРАННЫХ НЕЗАВИСИМЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Сначала был проведен синтез для трёх переменных: коэффициента пропорциональности  $\beta$ , аксиальной длины  $l$  и высоты ПМ  $h$ . Затем было изучено отношение  $M_{max}/V = f(\beta, l, h)$ , когда аксиальная длина является независимой переменной. Это так же появляется в синтезируемой формуле, где используются только независимые величины: коэффициент  $\beta$  и высота ПМ  $h$ . Была выбрана одна формула (9) из пяти данных для сравнения результатов, когда в программу заданы данные по двум переменным. Графики для этой формулы и данные реальных экспериментов при разных высотах ПМ (6, 6.5, 7, 7.5 и 8 мм), при коэффициентах  $\beta = 0.7$ ,  $\beta = 0.8$  и  $\beta = 0.9$

показывают, что разница для всех вариантов коэффициентов достаточно велика, рассчитанная в процентах – средняя разница 20%. Это не приемлемо. Дальше был проведен синтез для двух независимых переменных. Из шести предложенных вариантов формул выбран один (10) для описания конечной функции – максимальный механический момент к объёму (Рис. 6). Для этой формулы отличие от экспериментальных данных до десяти процентов, но средняя величина ошибки только четыре процента, что приемлемо. Так же для контрольных параметров – высота ярма  $h_{yoke}$ , максимальная плотность магнитного потока во внутренней муфте  $B_{max\ in}$  и во внешней муфте  $B_{max\ out}$  – были синтезированы формулы, из которых были выбрана одна и выданные ею результаты сравнены с экспериментальными данными. Формула устанавливает линейную зависимость, которая схожа с высотой ярма  $h_{yoke}$ , но не схожа с плотностью магнитного потока.

## IV. ТЕСТИРОВАНИЕ ВЫБРАННОЙ ФОРМУЛЫ

Были проведены тринадцать дополнительных экспериментов, чтобы проверить, как поведет себя формула при вариантах, которые между заданными. Дополнительные варианты выбраны по следующим принципам:

- 1) Коэффициенты пропорциональности  $\beta$  оставлены как заданные для синтеза и изменена только высота постоянного магнита  $h$ ;
- 2) Высоты ПМ  $h$  оставлены как заданные для синтеза и изменён только коэффициенты пропорциональности  $\beta$ ;
- 3) Изменены обе переменные в величинах, которые не были даны синтезом.

## V. ВЫВОДЫ

Из экспериментальных данных видно, что самая большая величина главной функции – максимальный механический момент к объёму – при коэффициенте пропорциональности, равном  $\beta = 0.7$ , при более высоких постоянных магнитах ( $h = 8$  мм) и, конечно, при самой большой аксиальной длине  $l$ . Эти три величины независимы при изучении величины максимального момента, но при изучении отношения  $M_{max}/V$ , аксиальная длина  $l$  не является независимой, так как она включена в расчет объёма. Задавая данные для двух независимых переменных из шести синтезированных формул, можно выбрать одну, которая очень хорошо описывает отношение  $M_{max} = f(h, \beta)$

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] J. F. Hair jr., W. C. Black, B. J. Babin and R. E. Anderson, Multivariate data analysis, 7th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2010. 762 p.
- [2] В. О. Эглайс, Аппроксимация табличных данных многомерным уравнением регрессии: Вопросы динамики и прочности. Рига, 1981. Вып. 39, с. 120.-125.