

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СУМАРНИТЕ ЗАГУБИ В ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНА СИСТЕМА ДВИГАТЕЛ ЗА ПОСТОЯНЕН ТОК-СИНХРОНЕН ГЕНЕРАТОР

Петко Костадинов, Васил Димитров

petko_kostadinov@abv.bg, vdimitroff@abv.bg

Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”

гр. София, ул. „Гео Милев” 158

РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: електрозадвижване, двигатели за постоянен ток, синхронен генератор, енергийна ефективност, широчинно-импулсна модулация (ШИМ)

Резюме: Съвременните електрозадвижвания се проектират с преобразуватели и микропроцесорни системи за управление с голяма изчислителна мощност и база данни за параметрите на електрозадвижването. Ефективността на електрозадвижването зависи не само от използваните устройства и възли, но и от точността на параметрите, въведени в базата данни на управляващата микропроцесорна система. С цел осигуряване необходимата точност на данните е необходимо провеждането на научни изследвания на задвижваните механизми и предварително определяне на загубите в тях. В резултат на това е възможно да бъде постигната по-висока енергийна ефективност, повишено бързодействие при преходните процеси без излишна загуба на енергия, както и намалена себестойност на системата.

В настоящия доклад е представена методика за определяне на сумарните загуби в електромеханична система (постояннотоков електродвигател – синхронен генератор). Определени са загубите в лагерите на задвижвания генератор и в свързващата предавка. На базата на получените резултати при различна скорост на въртене е построена тарировъчна характеристика на предавателния механизъм.

Впоследствие са монтирани магнитната и вентилиращата система на синхронния генератор и е определена тарировъчната му характеристика.

Чрез използване на получените тарировъчни характеристики и известната тарировъчна характеристика на задвижващия електродвигател е възможно да бъдат определени сумарните загуби при различни скорости и на ефективността на електрозадвижването.

ВЪВЕДЕНИЕ

Определянето на сумарните загуби в една електромеханична система (напр. двигател – генератор) създава възможност предварително да се определи необходимото количество енергия за поддържане на дадена скорост на въртене [1, 2]. Също така, сумарните загуби са всъщност генерирана топлина, която е необходимо да бъде

система на синхронния генератор и по този начин ще останат само загубите в лагерите на синхронния генератор, които са значително по-малки.

МЕТОДИКА ЗА ИЗВЪРШВАНЕ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Сумарните загуби в електромеханична система двигател за постоянен ток – синхронен генератор представляват сумата P_o от следните загуби:

- загубите в постояннотоковия двигател, сумарно представени като $P_{ПД}$: в активното съпротивление на котвата $P_{елПД}$, в стоманата $P_{сПД}$, и механическите загуби $P_{мехПД}$ (от триене, вентилация, загуби в лагерите и др.) [5];
- загубите в синхронния генератор, сумарно представени като $P_{осГ}$: в стоманата $P_{сГ}$, от вентилация $P_{вентсГ}$ и механически загуби $P_{мехсГ}$;
- загубите в свързващата предавка $P_{Мех.пред.}$:

$$(1) \quad P_o = P_{ПД} + P_{осГ} + P_{Мех.пред.}, W.$$

За извършване на изследването първоначално е необходимо да се демонтира магнитната и вентилационната система на синхронния генератор.

След пускането на двигателя се изменя скоростта на въртене на стъпки от минималната n_{min} до максималната n_{max} . Измерват се скоростта на въртене n , напрежението $U_{ПД}$, токът $I_{ПД}$ на двигателя и въртящият момент $M_{мех}$.

Алгоритъм за работа при снемане на данните:

- 1) Задава се необходимата скорост чрез потенциометъра $R_{п1}$ (първоначално n_{min});
- 2) Стартира се двигателят;
- 3) Записват се стойностите на първата точка от характеристиката;
- 4) Увеличава се скоростта;
- 5) Записват се стойностите на втората точка от характеристиката;
- 6) Аналогично се снемат стойностите на точки от характеристиката до n_{max} .

Изчисляват се пълната електрическата мощност, подавана към електродвигателя P_1 , загубите в активното съпротивление на котвата $P_{елПД}$, общите загуби в постояннотоковия двигател $P_{ПД}$, сумата от механическите загуби в синхронния генератор $P_{мехсГ}$ и механическите загуби в свързващата предавка $P_{Мех.пред.}$ по съответните формули:

$$(2) \quad P_1 = U_{оПД} \cdot I_{оПД}, W$$

където:

$U_{ПД}$ – измерено напрежение върху електродвигателя, W ;

$I_{ПД}$ - измерен ток през електродвигателя, W .

$$(3) \quad P_{елПД} = r_a \cdot I_{оПД}^2, W$$

където:

r_a – активно съпротивление на котвената верига (котвената намотка, колектора и четковия апарат, Ω [5]);

$$(4) \quad P_{ПД} = P_{елПД} + P_{сПД} + P_{мехПД}, W [5]$$

$$(5) \quad P_{мехсГ} = M_{мех} \cdot \pi \cdot n / 30, W$$

$$(6) \quad P_{Мех.пред.} = P_1 - P_{ПД} - P_{мехсГ}, W$$

След извършване на всички измервания се сглобяват магнитната и вентилационната система на синхронния генератор (вентилацията е интегрирана в магнитната система).

Като се спазва описаният „Алгоритъм за работа при снемане на данните“ се снемат стойностите на въртящия момент M_o в режим на празен ход на синхронния генератор ($I_{сГ} = 0$), скоростта на въртене n , напрежението $U_{оПД}$ и тока $I_{оПД}$ на двигателя.

Определят се общите загуби на празен ход в синхронния генератор по формулата:

$$(7) \quad P_{осг} = M_o \cdot \pi \cdot n / 30, W$$

Определя се сумата от загубите в стоманата и загубите от вентилация на синхронния генератор:

$$(8) \quad P_{ссг} + P_{вентсг} = P_{осг} - P_{мехсг}, W$$

Определя се общата електрическа мощност на системата постояннотоков електродвигател – синхронен генератор при монтирана вентилационна и магнитна система на синхронния генератор:

$$(9) \quad P_{ю} = U_{пдг} \cdot I_{пдг}, W$$

където:

$U_{пдг}$ – измерено напрежение върху електродвигателя, W ;

$I_{пдг}$ - измерен ток през електродвигателя, W .

По формула (1) се определят сумарните загуби в електромеханична система двигател за постоянен ток – синхронен генератор.

Извършва се проверка за съответствие между консумираната електрическа мощност и сумарните загуби.

Данните се попълват в таблици и се построяват характеристиките:

$$P_{ю} = f(n), P_o = f(n), P_{пдг} = f(n), P_{мех.пред} = f(n), P_{осг} = f(n).$$

РЕЗУЛТАТИ ОТ НАПРАВЕНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ИЗЧИСЛЕНИЯ

В табл. 1 са показани резултатите от измерванията и изчисленията на загубите в постояннотоковия двигател, свързващата предавка и лагери на синхронния генератор без вентилация и магнитна система. По време на измерванията се оказва, че разделителната способност на системата за измерване на въртящия момент не е достатъчна. Ето защо се наложи отчитане на две стойности на въртящия момент при 1000 rpm и при 2000 rpm (съответно 0,05 N.m и 0,1 N.m), като останалите стойности на $M_{мех}$ са получени чрез интерполация.

Използвани са данни, отчетени при тактова честота 244 Hz на ШИМ на импулсния регулатор, но при направени контролни измервания при други тактови честоти са отчетени същите стойности.

В табл. 2 са показани резултатите от измерванията и изчисленията за загубите в синхронния генератор и общите загуби на системата двигател-генератор.

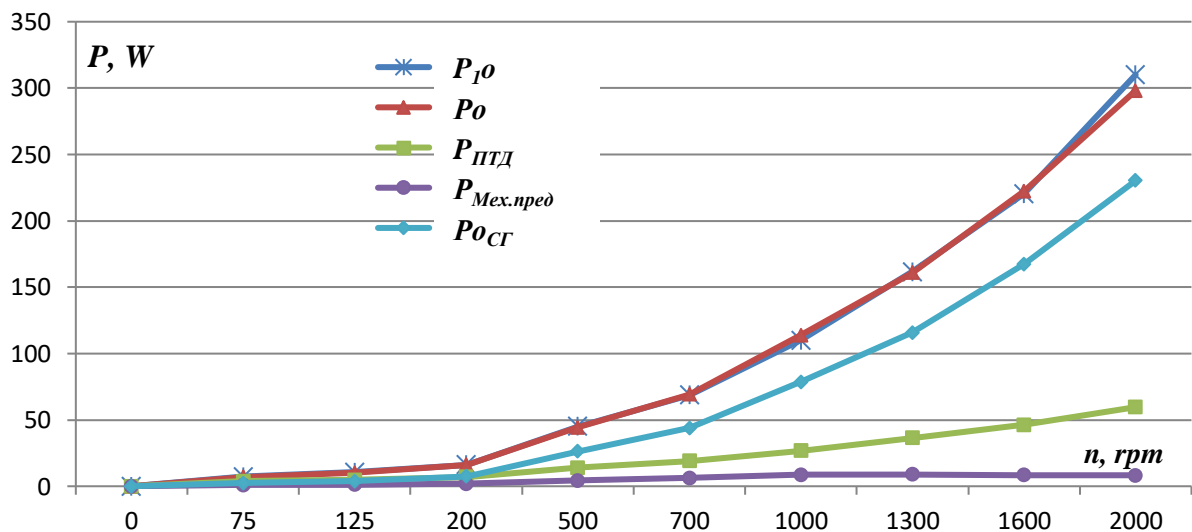
Табл. 1. Загуби в свързващата предавка

n	$U_{пдг}$	$I_{пдг}$	P_I	$P_{ЕЛ}$	$P_c + P_{МЕХ}$	$P_{пдг}$	$M_{мех}$	$P_{мехсг}$	$P_{Мех.пред}$
rpm	V	A	W	W	W	W	N.m	W	W
75	2,7	0,9	2,43	0,57	0,96	1,53	0,004	0,03	0,87
125	3,7	0,92	3,404	0,59	1,52	2,12	0,006	0,08	1,20
200	5,5	0,94	5,17	0,62	2,37	2,99	0,01	0,21	1,97
500	12	1,04	12,48	0,76	6,17	6,93	0,025	1,31	4,24
700	16,5	1,13	18,645	0,90	9,04	9,94	0,035	2,56	6,14
1000	23,1	1,21	27,951	1,03	13,13	14,15	0,05	5,23	8,56
1300	29,5	1,26	37,17	1,11	18,42	19,54	0,065	8,84	8,79
1600	36	1,3	46,8	1,19	23,75	24,93	0,08	13,40	8,47
2000	44,7	1,36	60,792	1,30	30,32	31,61	0,1	20,93	8,24

Табл. 2. Загуби в синхронния генератор и общи загуби на системата двигател-генератор при $f=244\text{Hz}$

n	$U_{\text{ПДТ}}$	$I_{\text{ПДТ}}$	$P_{\text{Ю}}$	$P_{\text{ЕЛ}}$	$P_{\text{С}} + P_{\text{МЕХ}}$	$P_{\text{ПДТ}}$	$P_{\text{Мех.пред}}$	M_0	$P_{\text{ОСГ}}$	P_0
rpm	V	A	W	W	W	W	W	$N.m$	W	W
0	0	0	0	0	0	0,00	0	0,3	0	0,00
75	3,6	2,02	7,27	2,86	0,96	3,82	0,87	0,3	2,36	7,05
125	4,8	2,18	10,46	3,33	1,52	4,85	1,2	0,3	3,93	9,98
200	6,4	2,53	16,19	4,49	2,37	6,86	1,97	0,35	7,33	16,16
500	13,6	3,31	45,02	7,69	6,17	13,86	4,24	0,5	26,17	44,26
700	18,2	3,77	68,61	9,97	9,04	19,01	6,14	0,6	43,96	69,11
1000	24,9	4,42	110,06	13,71	13,13	26,84	8,56	0,75	78,50	113,90
1300	32	5,05	161,60	17,89	18,42	36,31	8,79	0,85	115,66	160,76
1600	38,8	5,68	220,38	22,64	23,75	46,39	8,47	1	167,47	222,33
2000	48	6,46	310,08	29,28	30,32	59,60	8,24	1,1	230,27	298,11

На фиг. 3 в графичен вид са показани електрическата мощност $P_{\text{Ю}} = f(n)$, сумарните загуби $P_0 = f(n)$, загубите в постояннотоковия електродвигател $P_{\text{ПДТ}} = f(n)$, загубите в свързващата предавка $P_{\text{Мех.пред}} = f(n)$ и загубите на празен ход в синхронния генератор $P_{\text{ОСГ}} = f(n)$.



Фиг. 3. Графики на: електрическата мощност $P_{\text{Ю}}$, сумарните загуби P_0 , загубите в постояннотоковия електродвигател $P_{\text{ПДТ}}$, загубите в свързващата предавка $P_{\text{Мех.пред}}$ и загубите на празен ход в синхронния генератор $P_{\text{ОСГ}}$

ИЗВОДИ

В доклада е представена методика за определяне на сумарните загуби в електромеханична система (постояннотоков електродвигател – синхронен генератор). Определени са загубите в лагерите на задвижвания генератор и в свързващата предавка, построена е тарировъчна характеристика на предавателния механизъм при различна скорост на въртене. Впоследствие е определена и тарировъчната характеристика на синхронния генератор (монтирани са магнитната и вентилиращата система).

Наблюдава се относително малко разминаване между графиките на електрическата мощност P_{10} и сумарните загуби P_0 , потвърждаващо използваната методика за извършване на изчисленията. Най-голям дял от сумарните загуби се явяват загубите в синхронния генератор – това го прави непригоден за използване в системи, които в значителна част от времето работят в режим на минимално натоварване.

Чрез използване на получените тарировъчни характеристики е възможно да бъдат определени сумарните загуби при различни скорости и ефективността на електрозадвижването.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Vakshi U., M. Vakshi, Electrical Drives and Control, Technical Publications Pune, India, 2009
- [2] Българанов Л., И.Миленов,Г.Павлов,Ч.Джамбазки, Електрозадвижване, София, 2009
- [3] <http://www.arteh-bg.com/pages/products/DC/3PI.html>
- [4] http://elmarkholding.eu/download/products/129/Part108_Catalog_ELMARK_2015_WEB.pdf
- [5] Костадинов П., Определяне на тарировъчната характеристика на двигател за постоянен ток. V научна конференция с международно участие „КЕИТ 2020”, научно списание „Механика, Транспорт, Комуникации“, ISSN 1312-3823, бр. 3, 2020

DETERMINATION OF TOTAL LOSSES IN ELECTROMECHANICAL SYSTEM DC MOTOR - SYNCHRONOUS GENERATOR

Petko Kostadinov, Vasil Dimitrov

*Todor Kableshkov University of Transport
Sofia, 158 Geo Milev Str.
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

Keywords: *electrical drive, DC motors, synchronous generator, energy efficiency, pulse-width modulation (PWM)*

Abstract: *Contemporary electrical drives are designed with converters and microprocessor control systems with high computing power and a database of electrical drive parameters. The efficiency of the electrical drive depends not only on the devices and units used, but also on the accuracy of the parameters entered in the database of the control microprocessor system. In order to ensure the necessary accuracy of the data, it is necessary to conduct research on the driven mechanisms and to determine in advance the losses in them. As a result, it is possible to achieve higher energy efficiency, increased speed during transient modes without unnecessary energy losses, as well as reduced system costs.*

This paper presents a methodology for determining the total losses in an electromechanical system (DC motor - synchronous generator). The losses in the bearings of the driven generator and in the connecting gear have been determined. Based on the obtained results at different speeds of rotation, a calibration characteristic of the transmission mechanism is plotted.

Subsequently, the magnetic and ventilation system of the synchronous generator has been installed and its calibration characteristic has been determined.

By using the obtained calibration characteristics and the known calibration characteristic of the driving motor, it is possible to determine the total losses at different speeds and the efficiency of the electrical drive.