

УДК 321.313.12

В.Д. ЛУЩИК

Донбаський державний технічний університет

В.В. ДЯЧЕНКО, М.В. ГРЕЧКО

Гірничий факультет Української інженерно-педагогічної академії

ІНДУКТОРНІ ГЕНЕРАТОРИ РАДІАЛЬНОГО ЗБУДЖЕННЯ З СУМІЩЕНОЮ ОБМОТКОЮ

A generator inductor radial excitation of the combined winding and working on the valve load. The generator is made in batch size automobile generator. Conducted a comparative analysis.

Серед безконтактних електричних генераторів найбільшого поширення набули генератори індукторного типу завдяки простоті конструкції, надійності в роботі та невисокої ціни. Індукторні генератори знайшли широке застосування на тракторах та сільгоспмашинах, на вітроелектростанціях, на залізничному транспорті як підвагонні генератори. Однак більш широке поширення їх стримується з причини низьких питомих показників.

Індукторні генератори існують двох типів: однополюсні, або як ще їх називають аксіального збудження, в яких обмотка збудження розміщена не в статорі, а збоку (такого типу генератори виготовляють для тракторів), і різнополюсні, або радіального збудження, в яких обмотка збудження розміщена на статорі у великих пазах, а між великими пазами знаходяться пази значно меншого розміру для якірної обмотки.

Щоб об'єднати обмотку збудження і якірну обмотку в одну обмотку, потрібно щоб на зубцях статора розміщувались зосереджені котушки якірної обмотки і обмотки збудження.

При виборі числа пазів статора було прийнято до уваги наступне. Число полюсів обмотки збудження повинно бути мінімально можливим, щоб максимально зменшити витрати міді на обмотку збудження. При цьому обмотку збудження потрібно узгодити з трифазною обмоткою якоря, так як обмотки збудження і якоря розміщені на одних і тих же зубцях. Мінімальне число зубців якоря, на яких можливо утворити трифазну обмотку, дорівнює трьом. З огляду на те, що ці ж зубці повинні утворювати магнітне поле збудження, їх число повинно бути парним. Тому мінімально можливе число зубців на статорі $Z_1=6$. При $Z_1=6$ кожна пара зубців статора є окремою фазою. Також кожна пара зубців статора утворює магнітний потік збудження. Тому статор із $Z_1=6$ буде мати шестиполюсний магнітний потік збудження. $2p_{36}=6$ - мінімально можливе число полюсів збудження в розглядуваному індукторному генераторі.

Число зубців ротора Z_2 повинно бути парним. Це потрібно, щоб, по-перше, не було одностороннього магнітного протягування і, значить, магнітних вібрацій; по-друге, для збільшення величини пульсацій магнітного потоку в фазах: в певну мить часу під парою зубців статора, що є фазою, повинні розміщуватись зубці ротора, в слідууючу мить, через півперіоду -пази ротора. Цю умову можливо виконати, якщо Z_2 є парним.

Для більш раціонального використання магнітопроводу статора та ротора важливо, щоб Z_2 як можна менше відрізнялось від Z_1 . Найкраще підходить $Z_2=8$.

Для того, щоб досягалась максимально можлива пульсація, необхідно щоб

$$b_{Z1} < b_{\Pi 2}, b_{Z2} < b_{\Pi 1},$$

де b_{Z1}, b_{Z2} - ширина зубця статора і відповідно ротора,

$b_{\Pi 1}, b_{\Pi 2}$ - ширина паза статора і відповідно ротора.

Був виготовлений індукторний генератор, габарити і маса якого були такі ж, як і в серійного автомобільного генератора 37.3701(ВАЗ 2108). Зовнішній діаметр статора $D=124$ мм (рис.1), внутрішній діаметр - $D_1=48$ мм, ширина зубців і пазів $b_{Z1}=15$ мм, $b_{Z2}=14,6$ мм, $b_{\Pi 1}=27,4$ мм, $b_{\Pi 2}=17$ мм. Довжина пакета статора і ротора $l_p=48$ мм, але загальна вага статора і ротора залишились такою ж, як і в серійному генераторі за рахунок значно меншої ваги ротора, відсутності контактних кілець і щіток.

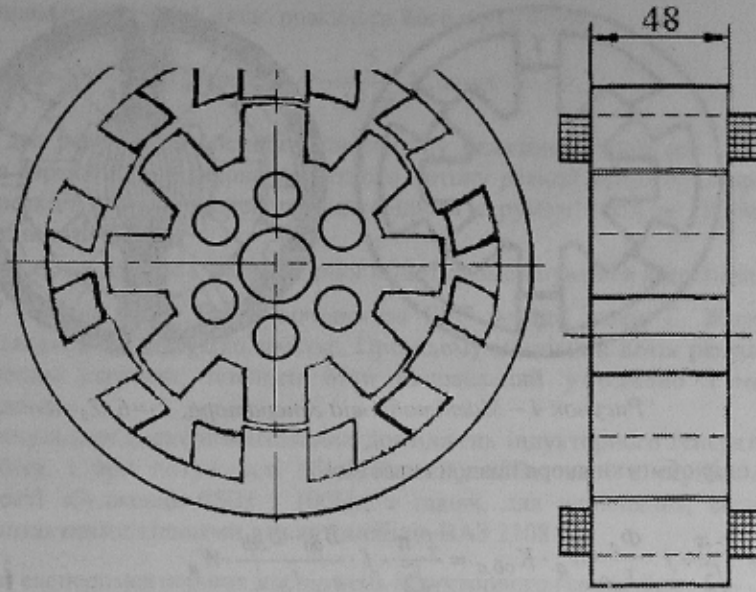


Рисунок 1 – Поперековий та поздовжній перетини магнітопроводу генератора

Така конструкція індукторного генератора дозволяє сумістити обидві обмотки в одній обмотці [1]. Кожна фаза якорної обмотки складається із $Z_1/3$ котушок, що знаходяться на протилежно розміщених зубцях при $Z_1=6$ і з'єднаних між собою в фазах послідовно зустрічно. Початки фаз В і С починаються з третьої та відповідно п'ятої котушок (рис.2), якщо прийняти початок фази А з першої котушки. Число витків котушок $W=81$, провід $d=0,72$, вага мідного проводу обмотки генератора $G_m=470$ грам. Число пар полюсів якорної обмотки p_1 визначається, як і у відомих індукторних генераторів, числом зубців ротора Z_2 , $p_1=Z_2$.

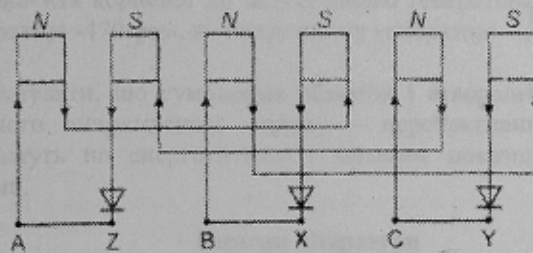


Рисунок 2 – Схема обмотки

Котушки можна з'єднати в дві паралельні зірки, в нульові виводи яких можна подавати струм збудження від джерела постійного струму [2]. Але більш ефективно з'єднати фази якорної обмотки в трикутник, при цьому в фазах якорної обмотки послідовно та узгоджено з іншими фазами ввімкнути діоди (рис.2). На один із діодів подають напругу від джерела постійного струму (рис. 3), з тим щоб струм збудження протікав по всім фазам якорної обмотки.

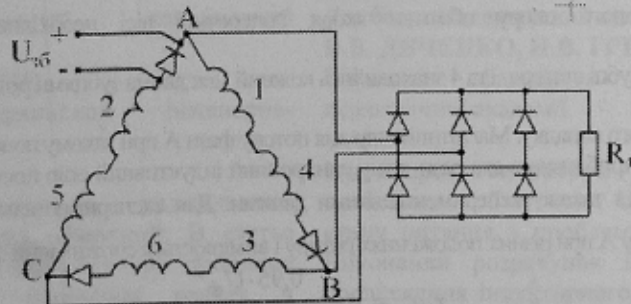
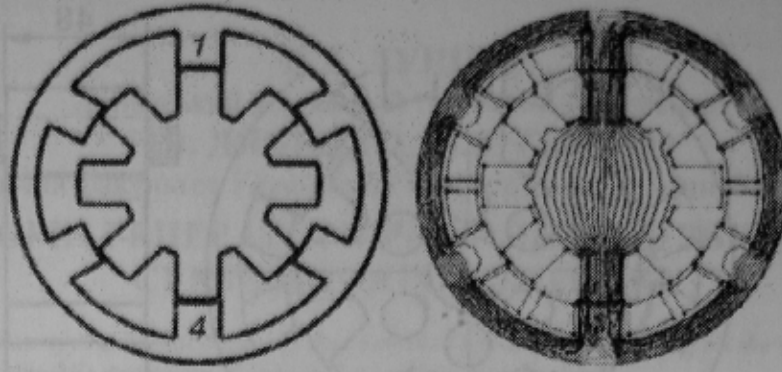


Рисунок 3 – Схема вмикання навантаження

При співпаданні вісей зубців статора 1 та 4, які належать фазі А, з всіма зубців ротора (рис. 4) виникає максимальний магнітний потік якоря по поздовжній вісі при умові, що в цю мить струм в фазі А має максимальне значення.

Рисунок 4 – Магнітопровід генератора, $Z_1=6$, $Z_2=8$

Індуктивний опір обмотки якоря поздовжньої вісі

$$x_{ad} = \frac{E_{a\phi}}{I_a} = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot \frac{\Phi_a}{I_a} \cdot W_a \cdot K_{об.а} = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot \frac{B_{\delta a} \cdot S_{\delta\phi}}{I_a} \cdot W_a \quad (1)$$

де Φ_a - магнітний потік, створений фазою якірної обмотки;

I_a - струм фази якірної обмотки;

W_a - число витків фази якірної обмотки;

$K_{об.а}$ - обмотковий коефіцієнт фази, $K_{об.а}=1$;

$B_{\delta a}$ - індукція магнітного поля фази якоря в повітряному зазорі між зубцями статора та зубцями ротора;

$S_{\delta\phi}$ - поперечний переріз зубця статора, через який проходить магнітний потік фази, $S_{\delta\phi}=b_z \cdot l_\delta$ (b_z - ширина зубця, l_δ - довжина пакета статора).

МРС фази якірної обмотки

$$F_a = I_a \cdot W_a = H_\delta \cdot 2\delta = \frac{B_{\delta a}}{\mu_0} \cdot 2\delta, \quad (2)$$

звідки

$$B_{\delta a} = \frac{\mu_0}{2\delta} \cdot I_a \cdot W_a \quad (3)$$

Підставляючи (3) в (1), одержимо

$$x_{ad} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot \frac{\mu_0}{\delta} \cdot W_a^2 \cdot b_z \cdot l_\delta \quad (4)$$

Індуктивний опір розсіювання x_σ фази якірної обмотки, що охоплює зубці прямокутної форми, визначається згідно з загальноприйнятими методиками.

Для визначення індуктивного опору обмотки якоря поперечної вісі необхідно повернути ротор на кут $\frac{360^\circ}{2 \cdot z_2} = \frac{360^\circ}{16} = 22,5^\circ$, так щоб зубці статора 1 та 4 знаходились кожний між двома зубцями ротора, і підрахувати

магнітний потік фази якоря для цього випадку. Магнітний опір для потоку фази А при такому положенні ротора збільшується, як показують попередні розрахунки, приблизно в два рази, тому синхронний індуктивний опір поперечної вісі складає приблизно $x_q = 0,5 \cdot x_d$, що підтверджується також експериментальними даними. Для експериментального визначення x_d та x_q подається однофазна напруга в фазу А при різних положеннях ротору і вимірюється споживаний фазною обмоткою струм:

$$x_{\max} = x_d = \frac{0,95 \cdot U_\phi}{I_{a \min}}; \quad x_{\min} = x_d = \frac{0,95 \cdot U_\phi}{I_{a \max}}$$

Якщо здійснити умови, наприклад, вмиканням діодів у фазу якірної обмотки, щоб в фазах якірної обмотки протікав однопівперіодний випрямлений струм (рис. 2) то з деяким наближенням, якщо знехтувати

індуктивністю якірної обмотки, магнітний потік реакції якоря можна вважати такої ж форми, що і струм, який його створює.

Однопівперіодний випрямлений струм, якщо розкласти його в ряд Фур'є

$$f(t) = \frac{1}{\pi} \cdot I_m + \frac{1}{2} I_m \cdot \cos \omega \cdot t + \frac{2}{3 \cdot \pi} \cdot I_m \cos 2 \cdot \omega \cdot t - \frac{2}{15 \cdot \pi} I_m \cos 4 \cdot \omega \cdot t + \dots, \quad (6)$$

має постійну складову і в два рази меншу основну гармонічну складову. Якщо враховувати індуктивність якірної обмотки, то основна гармонічна складова магнітного потоку реакції якоря буде приблизно в 2,3 рази менша магнітного потоку реакції якоря, створеного синусоїдним струмом такої ж діючої величини, що і однопівперіодний випрямлений струм.

Відповідно в 2,3 рази завдяки діодам в фазах якірної обмотки зменшуються індуктивні опори x_d та x_q і відповідно поздовжня ЕРС реакції якоря E_d та попереква ЕРС реакції якоря E . Жорсткість зовнішньої характеристики генератора завдяки діодам різко зростає. При цьому магнітний потік реакції якоря, створений однопівперіодним випрямленим струмом, повинен бути направлений узгоджено з магнітним потоком, створеним обмоткою збудження.

В табл. 1 приведені результати експериментальних досліджень індукторного генератора при швидкості обертання ротора $n=5000$ об/хв. і при потужності збудження $P_{зб}=65$ Вт, як і в серійному автомобільному генераторі, та при потужності збудження 85 Вт і 100 Вт, а також, для порівняння, експериментальні дані синхронного генератора з контактними кільцями для автомобілів ВАЗ 2108.

Таблиця 1 - Результати експериментальних досліджень індукторного генератора

Тип генератора	U_n	I_n	P_{2-}	$U_{зб}$	$I_{зб}$	$P_{зб}$	U_n	U_ϕ	I_ϕ	P_{2-}	$P_{ма}$	$\sum P_m$	$P_{ст.}$	$P_{мех}$	η
	В	А	Вт	В	А	Вт	В	В	А	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	%
індукторний	165	3,76	620	16	4	65	122	122	1,77	648	12,5	77,5	70	60	72,5
	190	3,95	750	18,5	4,6	85	140,6	140,6	1,86	784	14	99	75	60	73,3
	198	4	795	20	5	100	146,5	146,5	1,88	826	14	144	80	60	73,6
синхронний	13,64	55	750	13	5	65	10,1	5,83	44	784	662	727	70	60	45,7

Як видно із таблиці, втрати в міді якоря синхронного генератора (662Вт) перевищують сумарні втрати в міді якоря індукторного генератора (99Вт) в 7,4 рази, відповідно коефіцієнт корисної дії синхронного генератора на 38% менший коефіцієнта корисної дії індукторного генератора. Слід при цьому відмітити, що витрата міді в індукторному генераторі - 470грам, в синхронному генераторі - 560грам (230 грам в статорі і 330 грам в роторі).

Як висновок, можна констатувати, що суміщення обмоток і створення умов для протікання в фазах якірної обмотки однопівперіодного випрямленого струму - перспективний напрям для удосконалення індукторних генераторів, які можуть по енергетичним і вагомим показникам перевершувати синхронні генератори з контактними кільцями.

Список літератури

- Лущик В.Д. Принципи створення генератора з суміщеними обмотками. / Лущик В.Д., Гречко М.В. // Вісник НТУ «ХП». Збірник наукових праць - Харків. - 2003. №1. - С. 89-93.
- Лущик В.Д. Суміщені електричні машини та апарати. / Лущик В.Д. // К.: Техніка, 1993. - 203 с. Мова рос.

Надійшла до редколегії 06.04.2009

Рецензент: М.М.Федоров

В.Д. ЛУЩИК

Донбасский государственный технический университет

В.В. ДЯЧЕНКО, М.В. ГРЕЧКО

Горный факультет Украинской инженерно-педагогической академии

В.Д. ЛУЩИК

Донбаський державний технічний університет

В.В. ДЯЧЕНКО, Н.В. ГРЕЧКО

Гірничий факультет Української інженерно-педагогічної академії

Индукторные генераторы радиального возбуждения с совмещенной обмоткой. В статье проведен анализ состояния вопроса по проблеме индукторных генераторов. Выполнен расчет и приведены экспериментальные исследования индукторного генератора для автомобиля ВАЗ 2108.

Индукторный генератор, радиальное возбуждение, совмещенная обмотка

Индукторні генератори радіального збудження з суміщеною обмоткою. В статті проведений аналіз стану питання з проблеми індукторних генераторів. Виконаний розрахунок і подані експериментальні дослідження індукторного генератора для автомобіля ВАЗ 2108.

Индукторный аератор, радиальне збудження, суміщена обмотка