

БЕСКОНТАКТНЫЙ ДИСКОВЫЙ ГЕНЕРАТОР НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ С ПЕРЕМЕННЫМ ВОЗДУШНЫМ ЗАЗОРОМ

Многополюсные бесконтактные генераторы дисковой конструкции с возбуждением от постоянных магнитов в настоящее время находят всё большее применение в малой гидро- и ветроэнергетике. Простота устройства, небольшие габариты, невысокая угловая частота вращения, позволяют их устанавливать на одном валу с турбиной, ветроколесом без редукторов и без цепных или клиноремённых передач. Известно, что генераторам такой конструкции имеют определённые недостатки. В частности, им присущ эффект «магнитного залипания». Этот эффект затрудняет начало вращения приводного механизма и последующий разгон до номинальных оборотов. Для устранения этого эффекта и улучшения пусковых характеристик предлагается конструкция генератора с переменным воздушным зазором, величина которого регулируется центробежным регулятором. Для этого часть магнитопровода ротора сделана подвижной. При неподвижном роторе или малой угловой частоте вращения воздушный зазор имеет максимальную величину. При этом магнитное потокоцепление минимально и генератор имеет незначительный момент сопротивления при пуске. При увеличении угловой частоты вращения магнитная система ротора перемещается вдоль оси вращения под действием силы, развиваемой центробежным регулятором. При этом воздушный зазор уменьшается, магнитное потокоцепление возрастает и генератор начинает отдавать электрическую энергию. При уменьшении угловой частоты вращения под действием возвратной пружины магнитная система ротора перемещается в исходное состояние. Центробежный регулятор величины воздушного зазора является конструктивной частью магнитной роторной цепи машины.

Кинематическая схема центробежного регулятора воздушного зазора δ на основе регулятора Дж. Уатта показана на рис. 1. На левой половине рисунка показаны эпюры сил, на правой – кинематическая схема регулятора. На рисунке: l_1, l_2 – длина стержней; h_1, h_2 – проекция стержня l_2 на ось вращения (высота подъёма грузиков); F – сила реакции стержня; Φ – сила инерции; G – сила тяжести; $-F$ – противодействующая сила реакции стержня; α – угол отклонения стержня; ω – угловая частота вращения; R – радиус вращения грузиков; g – ускорение свободного падения; 1 – подвижный ротор; 2 – неподвижный статор.

Трением в шарнирах, массой рычагов (стержней) можно пренебречь. Массу грузиков считаем точечной. Длину стержней l_1, l_2 считаем одинаковой.

Сила инерции Φ равна:

$$\Phi = m\omega^2 R; \quad (1)$$

где m – масса грузиков

Заменяем $m = G/g$ и $R = L \cdot \sin \alpha$. Получим:

$$\Phi = \frac{G}{g} \omega^2 \cdot L \cdot \sin \alpha. \quad (2)$$

Далее

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Phi}{G} = \frac{L \cdot \omega^2 \cdot \sin \alpha}{g}; \quad (3)$$

где g – ускорение свободного падения.

Учитывая, что $\operatorname{tg} \alpha = \sin \alpha / \cos \alpha$, выражение [3] можно преобразовать к виду

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{L \cdot \omega^2 \cdot \sin \alpha}{g};$$

после сокращения получим:

$$\frac{1}{\cos \alpha} = \frac{L \cdot \omega^2}{g}, \text{ откуда } \cos \alpha = \frac{g}{L \cdot \omega^2} \quad (4)$$

высота подъёма грузиков будет равна

$$h = L \cdot \cos \alpha. \quad (5)$$

При неподвижном роторе или небольшой его

угловой частоте вращения начальный угол отклонения грузиков равен α_1 , который определяется конструктивными параметрами ротора. Этому моменту соответствует положение А и высота подъёма грузиков h_1 с радиусом вращения r_{1A} . При возрастании угловой частоты вращения до ω_2 грузики под действием центробежной силы Φ расходятся в стороны, поднимаясь вверх, занимая положение В, с радиусом вращения r_{2B} и высотой подъёма грузиков h_2 . При этом муфта на оси вращения опускается вниз, уменьшая тем самым воздушный зазор δ

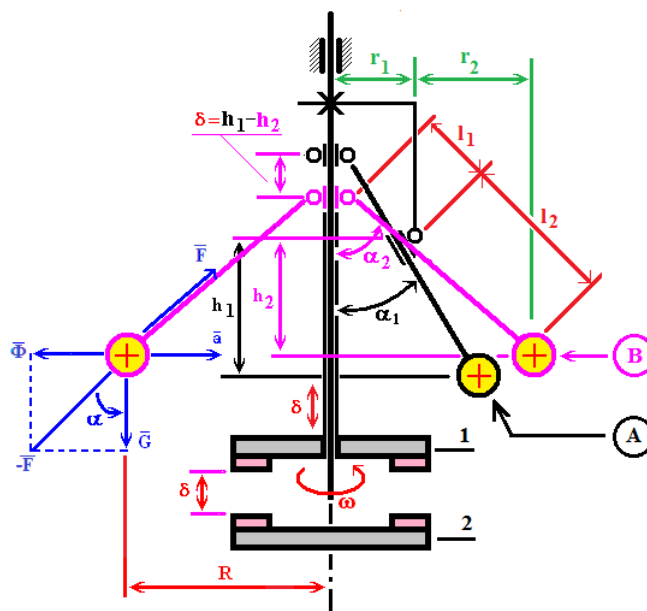


Рис.1. Кинематическая схема центробежного регулятора воздушного зазора δ .

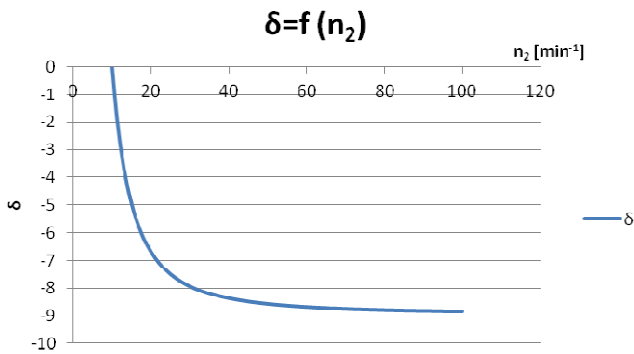


Рис.2. График изменения воздушного зазора δ от угловой частоты вращения n_2

воздушного зазора δ не зависит от длины стержней l_1 , l_2 и массы грузиков m . От длины стержней и массы грузиков m зависят силы, развиваемые центробежным регулятором. На рис. 2. представлен график изменения величины воздушного зазора δ (в относительных единицах) от угловой частоты вращения ω . Угловая частота вращения изменялась от 1,047 рад/с до 10,47 рад/с (от 10 об/мин до 100 об/мин).

На данную конструкцию генератора с уменьшенным моментом сопротивления при пуске получен патент Латвийской республики [1]. **LV 14495 B (Jānis Greivulis, Aleksandrs Gasparjans, Aleksandrs Terebkovs) от 25.01.2012 г.**

На рис. 3 показана конструктивная схема генератора. На схеме: 1. Неподвижный статор; 2. Сердечник катушки обмотки статора; 3. Обмотка статора; 4. Постоянный магнит возбуждения; 5. Вращающийся ротор; 6. Грузики центробежного регулятора; 7. Рычаги центробежного регулятора; 8. Кронштейны; 9. Вал; 10. Пружина (работает на сжатие), также выполняет роль демпфера колебаний.

Цель изобретения – сделать генератор, обладающий при пуске малым моментом сопротивления. В этом случае ветроколесо легко раскручивается до номинальных оборотов. При достижении угловой скорости вращения, близкой к номинальной, центробежный регулятор уменьшает воздушный зазор в магнитной системе до номинального. Генератор начинает работать в расчётном режиме.

На вращающемся валу 9 помещён ротор 5, который вращается вместе с валом на шпоночном соединении. При этом ротор 5 может перемещаться вдоль продольной оси вала 9. Перемещение ротора 5 изменяет воздушный зазор δ между постоянными магнитами 4 и сердечниками 2 статора 1. Ротор 5 перемещается нижними концами рычагов 7 центробежного регулятора. При возрастании угловой частоты вращения вала 9 и ротора 5 грузики 6 центробежного регулятора расходятся и стремятся занять более вертикальное положение. При этом подвижный и вращающийся ротор 5 с постоянными магнитами 4 перемещается влево, преодолевая сопротивление возвратной пружины 10, уменьшая тем самым воздушный зазор δ и увеличивая магнитную индукцию до расчётных значений.

Предлагаемое изобретение облегчает процесс запуска ветрогенераторов, генераторов с двигателями внутреннего сгорания и т.д. Техническо-экономичный эффект достигается от уменьшения момента сопротивления вращающего вала индуктора, т.е. улучшения пусковых характеристик [4], [5]. На практике воздушный зазор δ достаточно изменять в небольших пределах: от 0,3 мм до 5 мм, т.е. примерно в 16 раз.

Расчёт параметров магнитной цепи генератора.

Предварительный расчёт параметров магнитной цепи генератора согласно [7] показывает, что изменение в небольших пределах воздушного зазора δ сопротивление вращающего момента генератора изменяется значительно. Механическая сила в магнитном поле выражается в виде производной от энергии магнитного поля вдоль по координате [2]:

$$F = \left| \frac{\partial W_M}{\partial x} \right|, \quad (9)$$

где W_M – энергия магнитного поля.

Энергия магнитного поля в зазоре

$$W_M = BHS\delta/2, \quad (10)$$

где B , H – индукция и соответственно напряженность магнитного поля в зазоре,

S – площадь поперечного сечения магнитопровода,

δ – величина воздушного зазора.

Тогда сила, согласно (9)

$$F = \frac{\partial W_M}{\partial \delta} = \frac{BHS}{2} = \frac{B^2 S}{2\mu_0}, \quad (11)$$

где μ_0 – магнитная постоянная.

магнитной цепи машины. Согласно предварительному расчёту, на основании (5) имеем, соответственно:

$$h_1 = l_{2A} \cdot \cos \alpha_1, \text{ и } h_2 = l_{2B} \cdot \cos \alpha_2. \quad (6)$$

Подставляя в (6) значения $\cos \alpha$ из (4), получаем:

$$h_1 = \frac{g}{\omega_1^2} \text{ и } h_2 = \frac{g}{\omega_2^2}. \quad (7)$$

Величина воздушного зазора δ в магнитной системе индукторной машины определяется как

$$\delta = h_1 - h_2 = \frac{g}{\omega_1^2} - \frac{g}{\omega_2^2} = g \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{\omega_1^2 \cdot \omega_2^2}, \quad (8)$$

Из уравнения (8) видно, что величина изменения

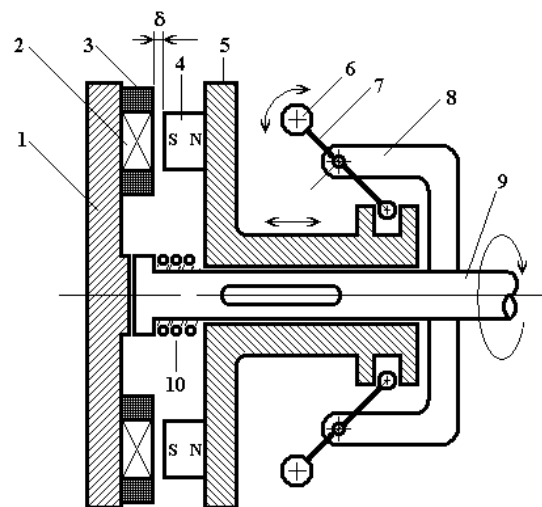


Рис.3. Конструктивная схема генератора с уменьшенным моментом сопротивления при пуске.

Используя закон полного тока, можно записать

$$H_S l_S + H_R l_R + H_\delta \delta = Iw, \quad (12)$$

где H_S , H_R , H_δ – напряженность магнитного поля, соответственно в статоре, роторе и воздушном зазоре,

w – число витков катушки статора,

I – сила тока в катушке статора,

l – длина средней линии, соответственно магнитопровода статора и ротора.

Следовательно,

$$B_\delta = \frac{\mu_0}{\delta} (Iw - H_S l_S - H_R l_R). \quad (13)$$

Подставив выражение индукции (13) в формулу (11), получим выражение для силы

$$F = \frac{\mu_0 (Iw - H_S l_S - H_R l_R)^2}{2\delta^2} S. \quad (14)$$

По формулам (13) и (14) произведены расчеты и представлены, соответствующие графики (рис. 4 и 5).

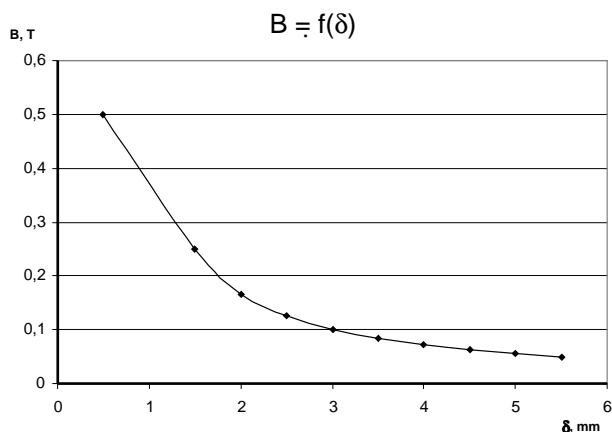


Рис. 5. График изменения индукции в воздушном зазоре от величины воздушного зазора δ .

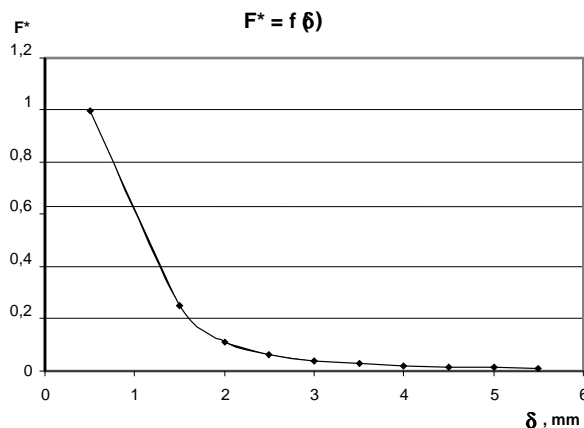


Рис. 6. График изменения электромагнитной силы (в относительных единицах) в воздушном зазоре от величины воздушного зазора δ .

Выводы

1. Приведена конструкция дискового генератора с возбуждением от постоянных магнитов с уменьшенным моментом сопротивления при пуске. Произведён расчёт параметров магнитной цепи генератора.
2. Предлагаемый генератор может быть использован для целей альтернативной энергетики.

Литература

1. LV patents LV 14495 B /Jānis Greivulis, Aleksandrs Gasparjans, Aleksandrs Terebkovs // Latvijas Republikas Patentu Valde, 25.01.2012 г. LV patent LV 14495 B /
2. Л.Р. Нейман, К.С. Демирчян. Теоретические основы электротехники. М.-Л., Энергия. 1966. L.R. Neiman, K.S. Demirchjan. Theoretical fundamentals of electrical engineering. (In Russian)
3. LV patents Nr. 14145, B, klase H02K19/06. Stieņu induktormašīna. // A.Terebkovs (LV), J.Greivulis (LV), A.Gasparjans (LV), J.Doniņš (LV) // Latvijas Republikas Patentu Valde, 20.10.2010. LV patents Nr. 14145, B, class H02K19/06. Bar-type inductor machine. // A.Terebkovs (LV), J.Greivulis (LV), A.Gasparjans (LV), J.Doniņš (LV) // Patents Board of Latvian Republic, 20.10.2010. (In Latvian)
4. J. Daskova-Golovkina, N. Levins, V. Pugacevs. Electrical generators of modern WPP. Power and Electrical Engineering International Conference, Riga, RTU, October, 2005.
5. J. Daskova-Golovkina, N. Levins, V. Pugacevs. Multipole Synchronous Generators with Permanent Magnets and tooth winding for low-power WPP. 5th International CPE 2007 “Compatibility in Power Electronics” Poland, Gdansk, 2007.
6. http://imlab.narod.ru/Energy/Gen_18_19/Gen_18_19.htm.
7. <http://www.nadaparasiepre.com/hobbies/wind-energy/generator/axial-generator-calculator-metric.xls>