



УДК 621.311  
doi:10.21685/2587-7704-2022-7-2-9



Open  
Access

RESEARCH  
ARTICLE

## Применение генератора LG-0107X в силовом тренажере

**Татьяна Юрьевна Бростилова**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
tat-krupkina@yandex.ru

**Сергей Владимирович Голобоков**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
golobokov\_sv@mail.ru

**Сергей Александрович Лебедев**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
branid65@gmail.com

**Михаил Владимирович Сарапкин**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
sarapkin.mix@gmail.com

**Аннотация.** Рассматривается применение автомобильного генератора LG-0107X в качестве управляемого тормоза в силовом тренажере DOMYOS. Рассмотрены вопросы повышения мощности генератора на малой частоте вращения ротора. Исследованы электрические характеристики генератора при работе на переменную нагрузку.

**Ключевые слова:** генератор, ЭДС, переменный магнитный поток, ток подмагничивания, частота вращения якоря, тормозной момент

**Финансирование:** исследования выполнены на средства гранта, выданного кафедре «Электроэнергетика и электротехника» ПГУ университетом прикладных наук г. Фленсбурга (Германия) в 2021 г.

**Благодарности:** авторы выражают признательность проректору по науке г-ну Боско Лер и декану технологического факультета г-же Антье Лабес.

**Для цитирования:** Бростилова Т. Ю., Голобоков С. В., Лебедев С. А., Сарапкин М. В. Применение генератора LG-0107x в силовом тренажере // Инжиниринг и технологии. 2022. Т. 7(2). С. 1–6. doi:10.21685/2587-7704-2022-7-2-9

## Application of LG-0107X generator in the power simulator

**Tat'yana Yu. Brostilova**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
tat-krupkina@yandex.ru

**Sergey V. Golobokov**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
golobokov\_sv@mail.ru

**Sergey A. Lebedev**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
branid65@gmail.com

**Mikhail V. Sarapkin**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
sarapkin.mix@gmail.com

**Abstract.** The article discusses the use of LG-0107X car generator as a controlled brake in the DOMYOS power simulator. The issues of increasing the generator power at a low rotor speed are considered. The electrical characteristics of the generator when operating at variable load are investigated.

**Keywords:** generator, EMF, alternating magnetic flux, bias, the rotational speed of the armature, braking torque



**Acknowledgments:** The research was funded by a grant from the Flensburg University of Applied Sciences (Germany) to the Department of Power and Electrical Engineering at Penza State University (Russia) in 2021. The authors are grateful to Mr. Bosco Lehr, the Vice-Rector for Science, and Ms. Antje Labes, the Dean of the Faculty of Technology.

**For citation:** Brostilova T.Yu., Golobokov S.V., Lebedev S.A., Sarapkin M.V. Application of LG-0107x generator in the power simulator. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2022;7(2):1–6. (In Russ.). doi:10.21685/2587-7704-2022-7-2-9

Силовой тренажер DOMYOS представляет собой механическое устройство с рычажным приводом и передачей усилия на грузы [1]. Противодействие на рычагах создает сила тяжести грузов. Перемещение набора грузов выполняется по вертикальной направляющей. Грузы подвешены на системе тросов, роликов и подвижных блоков.

В ходе тренировки появляется необходимость изменения усилий. Для повышения эргономических свойств тренажера предлагается уменьшить массу грузов и в качестве тормоза использовать генератор. При вращении ротора генератора в статорных обмотках наводится электродвижущая сила.

При подключении электрической нагрузки ток в обмотках ротора создает магнитное поле, которое взаимодействует с магнитным полем [2], создаваемым обмотками статора. Появляется тормозной момент, величина которого зависит от силы тока. Таким образом, усилием на рычагах можно управлять путем изменения нагрузки, подключенной к генератору.

Внешний вид генератора, смонтированного в верхней части тренажера, представлен на рис. 1.

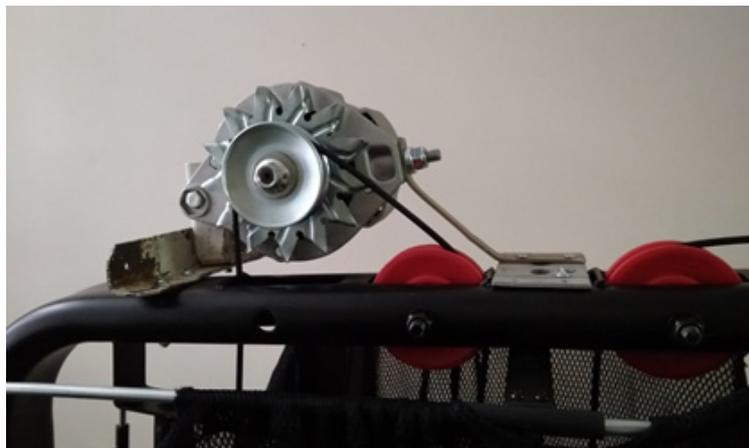


Рис. 1. Автомобильный генератор включен в кинематическую схему

В проекте модернизации тренажера принят автомобильный генератор LG-0107X производства компании «StarVolt» [3]. Генератор трехфазный, синхронный генератор 9402.3701-03 с электромагнитным возбуждением, встроенным выпрямительным блоком и регулятором напряжения, предназначен для работы в качестве источника электрической энергии параллельно с аккумуляторной батареей в системе электрооборудования автомобилей ВАЗ 2110-2115, 2170 и их модификаций.

Режим работы генератора в составе тренажера является повторно-кратковременным. Перемещение груза и движение троса выполняется с паузами, ротор генератора вращается с переменной частотой в обе стороны, попеременно. В обмотках генератора появляется ЭДС, которая создает пульсирующий ток. Для сглаживания пульсаций принят генератор постоянного тока, который работает на шины постоянного тока напряжением 12 В, частота тока в обмотках на выходные характеристики не влияет.

Основной проблемой применения генератора LG-0107X является высокая частота вращения ротора. Генератор начинает вырабатывать ЭДС на уровне 12 В при частоте вращения ротора 1100 об./мин. При скорости движения троса порядка 1 м/с частота вращения шкива генератора, диаметр которого равен 80 мм, составляет 4–5 Гц, или 240–300 об./мин. При такой частоте вращения генератор работать не сможет [4].

Принцип действия генератора основан на законе Фарадея. ЭДС пропорциональна скорости изменения магнитного потока, пронизывающего поперечное сечение статорной обмотки. Величину ЭДС найдем по формуле:



$$E = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (1)$$

Магнитный поток определяется параметрами магнитной системы якоря. Можно рассчитать магнитный поток по формуле:

$$\Phi = NBS\cos(Wt), \quad (2)$$

где  $N$  – число витков статорной обмотки;  $B$  – индукция магнитного поля;  $S$  – сечение магнитопровода;  $W$  – угловая скорость вращения ротора.

Формула (2) показывает, что конструктивные параметры  $N$  и  $S$  не изменяются. С увеличением частоты вращения ротора будет возрастать скорость пульсации магнитного потока. Однако диапазон частот вращения шкива ротора недостаточен для вывода генератора на расчетную мощность.

Магнитное поле создается обмотками якоря и зависит от тока, протекающего через якорные обмотки. При постоянном токе возбуждения индукция магнитного поля максимальна, но получаемая ЭДС менее 12 В. Для повышения величины ЭДС предложено питать обмотки возбуждения переменным током подмагничивания. Тогда магнитный поток будет изменяться как за счет вращения ротора, так и за счет переменного магнитного поля в самом роторе. Подключим обмотки возбуждения к источнику переменного тока с частотой  $w$ . В магнитной системе появится переменное магнитное поле, которое меняется по закону

$$B = B_m \cos(wt). \quad (3)$$

Подставим в формулу (2), получим

$$\Phi = NB_m \cos(wt) S \cos(Wt). \quad (4)$$

Возьмем производную от полученного выражения:

$$E = NB_m S (W \sin(Wt) \cos(wt) + w \cos(Wt) \sin(wt)). \quad (5)$$

Величина ЭДС зависит от конструктивных параметров и суммы двух периодических функций. Аргументами функций выступают угловая частота вращения ротора  $W$  и циклическая частота тока подмагничивания  $w$ . Далее необходимо решить оптимизационную задачу и для заданного диапазона частоты вращения ротора подобрать частоту тока подмагничивания, которая обеспечивает на выходе генератора ЭДС не менее 12 В.

Исследования выполнялись на модели, реализованной в программе Simulink. Частота вращения ротора генератора задавалась в диапазоне от 100 до 300 об./мин. Генератор синусоидального тока подключен к обмоткам возбуждения и меняет частоту тока в диапазоне от 0 до 30 Гц. На малой частоте вращения генератор работает как трансформатор с большими потерями [2]. Ток подмагничивания ротора задает амплитуду колебания магнитного потока, которая наводит ЭДС статорных обмоток не менее 12 В.

На рис. 2 представлен график зависимости ЭДС от времени для тока подмагничивания разной частоты. По горизонтали дана шкала времени в мс, по вертикали – ЭДС в вольтах. Амплитуда ЭДС без подмагничивания равна 3 В.

Анализ графиков позволяет выбрать минимальную частоту тока, на которой будет работать интегральный регулятор напряжения. Для частоты вращения ротора 300 об./мин частота тока подмагничивания равна 20 Гц. При этом амплитуда ЭДС превышает 12,6 В и дает самовозбуждение генератора. Дальнейшее увеличение частоты приводит к росту ЭДС свыше 15 В. Но регулятор напряжения будет ограничивать ЭДС на уровне 14,5 В. При этом растет мощность, потребляемая обмоткой возбуждения.

На модели выполнено исследование зависимости ЭДС генератора от частоты вращения ротора генератора. На рис. 3–6 представлены графики зависимости ЭДС с частотой тока подмагничивания 25 Гц.

По горизонтали на всех рисунках – ось времени в миллисекундах, по вертикали – шкала напряжения на выводах генератора в режиме холостого хода, в вольтах. На рис. 3 и 4 видно, что ЭДС генератора без тока подмагничивания не превышает 6 В, генератор не работает. Амплитуда ЭДС с током подмагничивания достигает 15 В и обеспечивает работу интегрального регулятора напряжения на малой мощности.

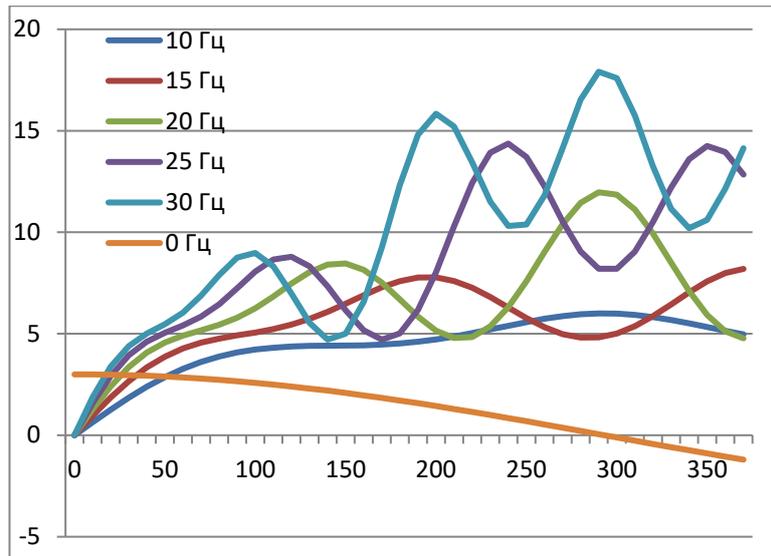


Рис. 2. Влияние частоты тока подмагничивания на ЭДС

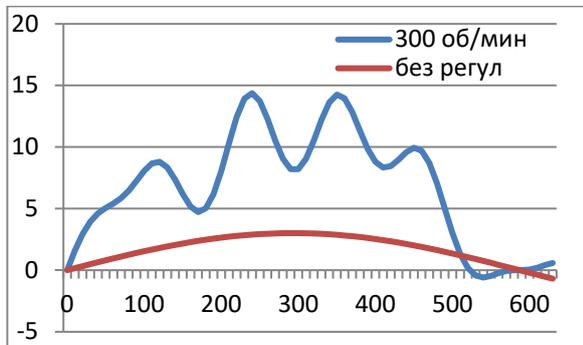


Рис. 3. ЭДС обмоток 300 об./мин

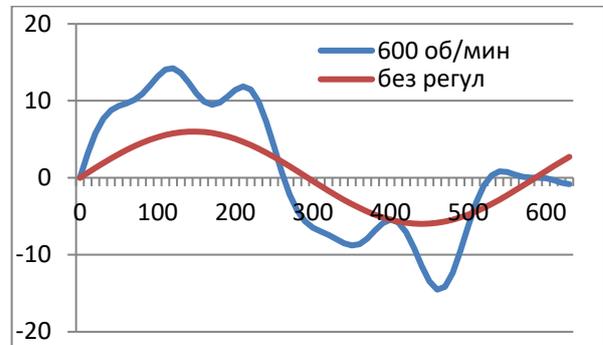


Рис. 4. ЭДС обмоток 600 об./мин

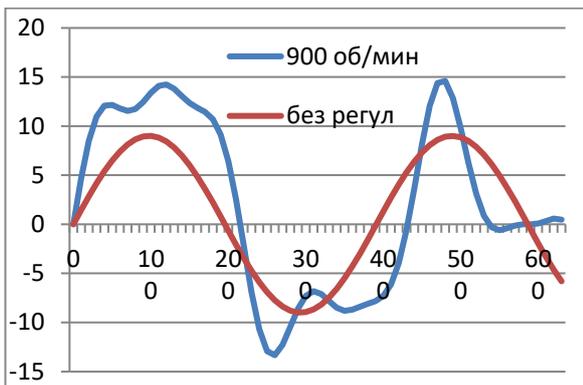


Рис. 5. ЭДС обмоток 900 об./мин

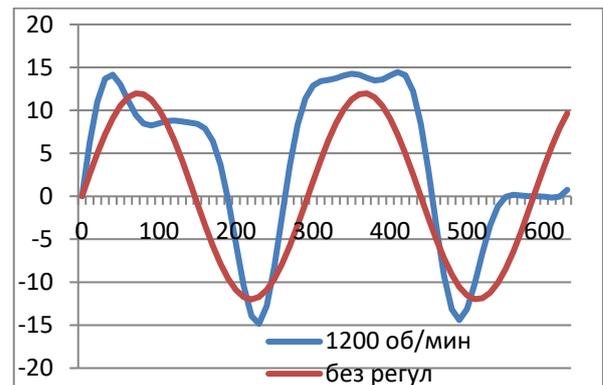


Рис. 6. ЭДС обмоток 1200 об./мин

На рис. 5 и 6 представлены графики зависимости ЭДС от частоты вращения ротора вплоть до минимальной рабочей частоты 1100 об./мин согласно паспортным данным генератора. Амплитуда ЭДС генератора без подмагничивания составляет 12 В, а с подмагничиванием достигает 15 В.

На рис. 7 представлены графики зависимости ЭДС генератора для частоты 1500 об./мин – в зоне уверенной работы генератора. Амплитуда ЭДС штатного генератора и генератора с подмагничиванием одинакова, но суммарная площадь фигуры под графиком ЭДС для тока подмагничивания меньше, чем у штатного варианта. Площадь под кривой напряжения, возведенного в квадрат, пропорциональна электрической мощности.

Заполнение классической синусоиды больше, следовательно вырабатываемая штатным генератором мощность также будет больше. На высокой частоте вращения ротора переменный магнитный



поток якоря приводит к недонасыщению магнитопровода и снижению отдаваемой мощности. Показатели генератора с подмагничиванием снижаются.

Регулятор напряжения подключен к аккумулятору с номинальным напряжением 12 В. В импульсном режиме обмотка возбуждения потребляет ток 2 А, следовательно потребляемая мощность равна 24 Вт. Выдаваемая генератором мощность найдется как мощность генерации минус мощность потребления. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

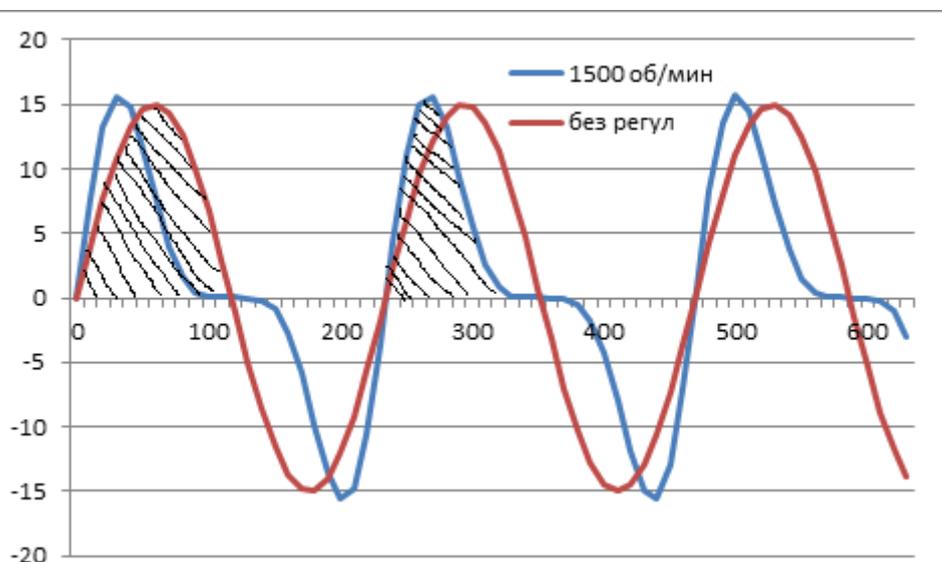


Рис. 7. ЭДС обмоток на частоте вращения ротора 1500 об./мин

Таблица 1

Значения ЭДС генератора на частоте вращения 300 об./мин

Показатель	Ед. изм.	Угловая частота тока подмагничивания, рад/с					Без подмагничивания
		63	95	126	158	189	
Напряжение		5,8	7,6	12,4	14,6	18,2	0
Амплитудное	В	4,4	4,9	5,7	8,7	11,6	3,00
Среднее	В	12	16	28	56	78	1,60
Мощность выходная	Вт	0	0	4	32	54	6
Мощность эффективная	Вт	0	0	4	32	54	0

Анализ данных показывает, что на частоте вращения ротора 300 об./мин генератор начинает вырабатывать мощность только при частоте тока подмагничивания 20 Гц. С увеличением частоты вращения ротора отдаваемая мощность возрастает.

### Заключение

При частоте вращения ротора менее 1100 об./мин генератор LG-0107X не работает, выходное напряжение менее 12 В, вентили закрыты.

При подаче на обмотку возбуждения переменного тока с частотой 20 Гц происходит подмагничивание магнитопровода, растет скорость изменения магнитного потока и ЭДС возрастает до 12 В.

На частоте вращения ротора 300 об./мин с током подмагничивания частотой 25–30 Гц удается поднять мощность генерации до 100 Вт.

На частоте вращения ротора 1200 об./мин с током подмагничивания частотой 25–30 Гц мощность генерации снижается.

### Список литературы

1. Тренажер для силовых тренировок с управляемой нагрузкой Domyos. URL: [https://new.decathlon.ru/products/trenazher\\_dlya\\_silovyh\\_trenirovok\\_s\\_upravlyaemoj\\_nagruzkoy\\_domyos-8503175](https://new.decathlon.ru/products/trenazher_dlya_silovyh_trenirovok_s_upravlyaemoj_nagruzkoy_domyos-8503175)
2. Кицис С. И. Расчеты характеристик асинхронных самовозбуждающихся генераторов : учеб. пособие. Тюмень : Изд-во ТюмГНГУ, 2009. 276 с.
3. Генератор ВАЗ-2105. URL: <https://bnzshop.ru/vparts/STARTVOLT/LG0107X>



4. Ануфриев А. С. Повышение эффективности магнитоэлектрических генераторов малой мощности для ветро-энергетических установок : дис. ... канд. техн. наук. Самара : Изд-во СамГТУ, 2018. 130 с.

### References

1. *Trenazher dlya silovykh trenirovok s upravlyaemoy nagruzkoj Domyos = Domyos controlled strength training machine.* (In Russ.). Available at: [https://new.decathlon.ru/products/trenazher\\_dlya\\_silovyh\\_trenirovok\\_s\\_upravlyaemoj\\_nagruzkoj\\_domyos-8503175](https://new.decathlon.ru/products/trenazher_dlya_silovyh_trenirovok_s_upravlyaemoj_nagruzkoj_domyos-8503175)
2. Kitsis S.I. *Raschety kharakteristik asinkhronnykh samovozbuzhdayushchikhsya generatorov: ucheb. posobie = Calculations of the characteristics of asynchronous self-excited generators: A textbook.* Tyu-men': Izd-vo TyumGNGU, 2009:276. (In Russ.)
3. *Generator VAZ-2105 = VAZ-2105 Generator.* (In Russ.). Available at: <https://bnzshop.ru/vparts/STARTVOLT/LG0107X>
4. Anufriev A.S. *Improving the efficiency of low power magnetolectric generators for wind power plants.* PhD dissertation. Samara: Izd-vo SamGTU, 2018:130. (In Russ.)

Поступила в редакцию / Received 11.03.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 17.03.2022

Принята к публикации / Accepted 05.05.2022