

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 629. 1.04

### МГНОВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ МОМЕНТА, РАЗВИВАЕМОГО СИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ ПРИ ИНДУКТИВНОЙ И ЕМКОСТНОЙ НАГРУЗКЕ

*В.И. Безденежных*

*Курганский государственный университет (г. Курган)*

© Безденежных В.И., 2025

**Аннотация.** Цель настоящего исследования – показать, что момент сил, развиваемый синхронной электрической машиной при реактивной нагрузке, не равен нулю. При этом речь идет о мгновенном значении момента сил. В работе применены методы математического моделирования и традиционные электротехнические расчеты. Для сформулированной в статье теоремы представлены три независимых друг от друга доказательства – для любой реактивной нагрузки, индуктивной и емкостной. Отмечено, что, вопреки возможному интуитивному предположению, у индуктивной синхронной электрической машины с реактивной нагрузкой развиваемый момент не равен нулю, а из этого следует, что механическая мощность, развиваемая машиной, также не равна нулю. Полученные результаты рекомендовано использовать при проектировании автоматизированных электрических приводов.

**Ключевые слова:** синхронная машина, индуктивная, емкостная нагрузка, ЭДС, ток, момент.

**DOI:** 10.46573/2658-7459-2025-2-36-39

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Многие авторитетные специалисты в области электромеханики убеждены, что момент, развиваемый синхронной электрической машиной при реактивной нагрузке, равен нулю. При этом речь идет о мгновенном значении момента. Цель данного исследования заключается в том, чтобы показать, что подобное представление не соответствует действительности. Задача – получить доказанные теоремой результаты. Актуальность работы состоит в том, чтобы обратить внимание специалистов на указанное заблуждение, которое довольно широко распространено.

#### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В настоящей работе применяются методы математического моделирования.

#### **Электродвигущая сила (ЭДС) идеализированной синхронной машины**

Электродвигущую силу одного витка обмотки в соответствии с законом электромагнитной индукции можно выразить как  $e_l = -Blv \sin \varphi$ , где  $B$  – магнитная индукция;  $l$  – длина активной части витка;  $v$  – линейная скорость активной части витка;  $\varphi$  – фаза.

Для  $n$  витков  $e_n = -Blnv \sin \varphi$ .

Скорость  $v$  представляется как  $v = \frac{D_r}{2} \frac{d\varphi}{dt}$ , где  $D_r$  – диаметр якоря.

Таким образом, ЭДС идеализированной синхронной машины [1–3] можно найти как

$$e = -Bln \frac{D_r}{2} \frac{d\varphi}{dt} \sin \varphi.$$

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Теорема.* Момент сил синхронной электрической машины при реактивной нагрузке не равен нулю.

*Доказательство 1.* При реактивной нагрузке развивается реактивная мощность

$$q = ui = U \sin \omega t \cdot I \sin \left( \omega t \pm \frac{\pi}{2} \right) = \pm \frac{1}{2} UI \sin 2\omega t,$$

где  $u$  – мгновенное значение напряжения;  $i$  – мгновенное значение тока;  $U$  – амплитудное значение напряжения;  $\omega$  – циклическая частота;  $I$  – амплитудное значение тока.

Реактивная мощность не равна нулю.

Механическая мощность  $p = \mu \omega$ , где  $\mu$  – момент [4].

В соответствии с законом сохранения энергии механическая мощность равна электрической мощности [5]. Из этого следует формула для момента

$$\mu = \frac{p}{\omega} = \frac{q}{\omega} = \pm \frac{UI}{2\omega} \sin 2\omega t.$$

Как и реактивная мощность, момент не равен нулю.

Теорема доказана.

*Замечание.* Речь не идет о среднем значении момента за период колебаний.

*Доказательство 2.* Пусть нагрузка является индуктивной. При этом

$$u_L = -L \frac{di}{dt},$$

где  $u_L$  – напряжение на нагрузке;  $L$  – индуктивность.

В соответствии с законом Кирхгофа  $e = u_L$ , или  $Bln \frac{D_r}{2} \frac{d\varphi}{dt} \sin \varphi = L \frac{di}{dt}$ .

Интегрирование этого выражения дает  $i = -\frac{Bln D_r}{L} \cos \varphi + I_0 = -I_m \cos \varphi + I_0$ .

Начальный ток  $I_0$  можно положить равным нулю.

В соответствии с законом Ампера  $f = Blni \sin \varphi$ , где  $f$  – мгновенное значение силы, действующей на активную часть витка.

Отсюда мгновенное значение момента

$$\mu = Blni \frac{D_r}{2} \sin \varphi = -Bln \frac{Bln D_r}{L} \frac{D_r}{2} \cos \varphi \frac{D_r}{2} \sin \varphi = -\frac{(Bln)^2}{L} \frac{D_r^2}{8} \sin 2\varphi.$$

Очевидно, что момент не равен нулю.

Теорема доказана.

*Доказательство 3.* Пусть нагрузка является емкостной. При этом

$$Bln \frac{D_r}{2} \omega \sin \omega t = \frac{1}{C} \int_0^t idt, \text{ где } C - \text{емкость.}$$

Дифференцирование этого выражения дает

$$i = BlnC \frac{D_r}{2} \omega^2 \cos \omega t.$$

Момент

$$\mu = Blni \frac{D_r}{2} \sin \varphi = BlnBlnC \frac{D_r}{2} \omega^2 \cos \varphi \frac{D_r}{2} \sin \varphi = (Bln)^2 C \frac{D_r^2}{8} \omega^2 \sin 2\varphi.$$

Очевидно, что момент не равен нулю.

Теорема доказана.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, у индуктивной синхронной электрической машины с реактивной нагрузкой развиваемый момент не равен нулю. Здесь необходимо отметить, что механическая мощность, развиваемая машиной, также не равна нулю.

Полученные результаты следует использовать в ходе учебного процесса, а также при проектировании электрических систем.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Попов И.П. Амплитудно-частотные особенности режимов нагрузки синхронной электрической машины // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2020. № 2 (6). С. 49–56.
- Иванов П.Г., Корнеев К.Б. Анализ влияния генераторов тепловых электростанций на режимы работы электросети крупного города России // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2023. № 4 (20). С. 45–50.
- Попов И.П. Электромеханический маховик с искусственным (емкостным) моментом инерции // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2021. № 1 (9). С. 58–63.
- Попов И.П. Приоритет электродинамики над механикой на примере второго закона Ньютона // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2024. № 3 (23). С. 62–69.
- Павлов В.Д. Механическая мощность при гармонических воздействиях // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2022. № 1 (73). С. 30–38.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

**БЕЗДЕНЕЖНЫХ Валентина Ивановна** – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации производственных процессов, ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», 640020, Россия, г. Курган, ул. Советская, д. 63/4. E-mail: uralakademia@kurganstalmst.ru

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА**

Безденежных В.И. Мгновенное значение момента, развивающего синхронным генератором при индуктивной и емкостной нагрузке // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2025. № 2 (26). С. 36–39.

---

**INSTANTANEOUS VALUE OF TORQUE DEVELOPED  
BY A SYNCHRONOUS GENERATOR  
WITH INDUCTIVE AND CAPACITIVE LOAD**

*V.I. Bezdeneshnykh*  
*Kurgan State University (Kurgan)*

**Abstract.** The purpose of this study is to demonstrate that the torque developed by a synchronous electric machine under a reactive load is nonzero. This study refers to the instantaneous value of the torque. The study utilizes mathematical modeling methods and traditional electrical engineering calculations. Three independent proofs are presented for the theorem formulated in the article – for any reactive load, inductive, and capacitive. It is noted that, contrary to possible intuitive assumptions, the torque developed by an inductive synchronous electric machine under a reactive load is nonzero, which implies that the mechanical power developed by the machine is also nonzero. The obtained results are recommended for use in the design of automated electric drives.

**Keywords:** synchronous machine, inductive, capacitive load, EMF, current, torque.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

*BEZDENESHNYKH Valentina Ivanovna* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automation of Production Processes, Kurgan State University, 63/4, Sovetskaja street, Kurgan, 640020, Russia. E-mail: uralakademia@kurganstalmst.ru

**CITATION FOR AN ARTICLE**

Bezdeneshnykh V.I. Instantaneous value of torque developed by a synchronous generator with inductive and capacitive load // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2025. No. 2 (26), pp. 36–39.