

УДК 621.313

В. И. Милых, д-р техн. наук,
Н. В. Полякова,
Е. Ю. Юрьева, канд. техн. наук

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ БОРТОВОГО СТАРТЕР-ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ РАЗГОНА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Аннотация. Представлен принцип достаточно простого и эффективного определения закона регулирования напряжения источника питания стартер-генератора как вентильного двигателя при начальном разгоне газотурбинного двигателя. Приведены расчетные характеристики стартера при разгоне этого двигателя.

В. І. Милих, д-р техн. наук,
Н. В. Полякова,
О. Ю. Юр'єва, канд. техн. наук

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНУ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ БОРТОВОГО СТАРТЕР-ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ РОЗГОНУ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

Анотація. Подано принцип достатньо простого і ефективного визначення закону регулювання напруги джерела живлення стартер-генератора як вентильного двигуна при початковому розгоні газотурбінного двигуна. Наведено розрахункові характеристики статора при розгоні цього двигуна.

V. I. Milyh, ShD,
N. V. Poljakova,
E. Ju. Jur'eva, PhD

DEFINITION OF LAW REGULATING VOLTAGE TRIP STARTER-GENERATOR TO DISPERSE THE GAS TURBINE ENGINE

Abstract. The principle is presented there is enough simple and effective determination of control law of feed source voltage of starter-generator as a rectifier motor at the initial acceleration of gas-turbine engine. The calculated characteristics of the engine's stator during acceleration are shown

Введение. В [2] рассматривалась возможность использования бортового турбогенератора, работающего от газотурбинного двигателя (ГТД), в качестве стартера этого же двигателя. Была представлена простая и эффективная методика оценки совместимости общих энергетических параметров и механических характеристик этого двигателя и стартера. В случае положительного результата необходим дальнейший достаточно сложный расчет двигательного режима стартера, основой которого является решение задачи переходного процесса, сопровождающего пуск стартера вместе с ГТД. Для начала таких исследований необходим хотя бы ориентировочный сопутствующий закон регулирования напряжения питания стартера.

Целью данной работы является представление методики предварительной подготовки этого закона регулирования напряжения питания стартера.

Объект исследования. Электромагнитная система стартера показана на рис.1. Он по сути является вентильным электродвигателем, питающимся от источника постоянного напряжения U_d . Схема двигателя с транзисторным инвертором напряжения приведена на рис.2.

Материалы исследования. В достаточно полной постановке цикл коммутаций (период T) инвертора состоит из чередующихся 6 коммутационных и 6 межкоммутационных интервалов, причем во времени вторые занимают основную часть, поэтому на данном этапе пренебрежем первыми.

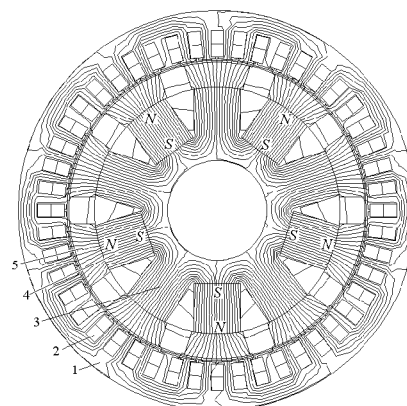


Рис.1. Поперечное сечение стартер-генератора: 1, 2 – сердечник и трехфазная обмотка статора; 3 – сердечник ротора с пассивными полюсами; 4 – постоянные магниты; 5 – ферромагнитные наконечники полюсов

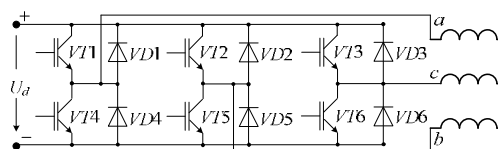


Рис. 2. Схема вентильного двигателя

Для примера рассмотрим межкоммутационный интервал времени $0 \leq t \leq T/6$, когда открыты транзисторы $VT1$ и $VT6$. Тогда в контуре фазных обмоток a и c проходит единый ток i_s ($i_c = -i_a$) и справедливо уравнение

$$\frac{d\psi_a}{dt} + \frac{d\psi_c}{dt} + 2R_s i_s = U_d, \quad (1)$$

где ψ_a, ψ_c, R_s – полные магнитные потокоцепления и активное сопротивление фазных обмоток.

Как показали приближенные и полнофакторные расчеты, в межкоммутационном интервале фазные токи можно представить экспонентой

$$i_s = I_{sq}(1 - e^{-t/\tau}), \quad (2)$$

где установившееся значение тока и постоянная времени $I_{sq} = \frac{U_d - e_s}{2R_s}$, $\tau = \frac{3}{2} \frac{L_s}{R_s}$, L_s – средняя индуктивность фазной обмотки; t – текущее время от начала рабочего интервала.

Для решения задачи используются определенные на основе классических соотношений [1] для двух фазных обмоток, соединенных последовательно, средние значения ЭДС и электромагнитного момента в пределах текущего рабочего фазного интервала

$$e_s = \frac{\pi}{15} d_r l_s N_s K_{ws} B_\delta n, \quad (3)$$

$$M_{emav} = 2 l_s d_r N_s K_{ws} B_\delta I_{sav}, \quad (4)$$

где n – частота вращения (об/мин), N_s – число витков фазной обмотки; l_s – активная длина обмотки; B_δ – среднее значение магнитной индукции в зазоре на ширине наконечников полюсов; K_{ws} – коэффициент укорочения обмотки; d_r – диаметр ротора.

Среднее значение тока в пределах рабочего фазного интервала длительностью $t_w = \frac{60}{m_s p n}$

$$I_{sav} = I_{sq} \left[1 + \frac{\tau}{t_w} \left(e^{-t_w/\tau} - 1 \right) \right], \quad (5)$$

где p, m_s – числа пар полюсов и фаз обмотки статора.

Максимальное значение тока в конце рабочего фазного интервала

$$I_{smax} = I_{sq} \left(1 - e^{-t_w/\tau} \right). \quad (6)$$

Для разгона ГТД задается необходимая механическая характеристика стартера $M_M(n)$. По ней при каждом значении n определяют текущее значение $M_{emav} = M_M$, а из (4) находится необходимое среднее значение тока

$$I_{sav} = \frac{M_{emav}}{2 l_s d_r N_s K_{ws} B_\delta}, \quad (7)$$

а затем из (5) – установившееся значение тока:

$$I_{sq} = \frac{I_{sav}}{1 + \frac{\tau}{t_w} \left(e^{-t_w/\tau} - 1 \right)}. \quad (8)$$

При конкретной частоте вращения n определяется ЭДС e_s (3) и по известному значению I_{sq} – необходимое значение напряжения источника питания

$$U_d = 2R_s I_{sq} + e_s. \quad (9)$$

Таким способом, проведя расчеты в диапазоне изменений n , получаем первое приближение закона регулирования напряжения источника $U_d(n)$.

Расчеты, проведенные для стартер-генератора мощностью 4 кВт, представлены на рис.3 семейством зависимостей рассматриваемых величин от частоты вращения. Здесь, кроме уже называвшихся величин, представлен M_l – момент сопротивления ГТД.

Ввиду того, что уровень напряжения U_d ограничен его номинальной величиной $U_{dN} = 27$ В, при достижении $n = 8000$ об/мин из-за продолжающегося роста ЭДС e_s токи и электромагнитный момент уменьшаются и разгон ГТД прекратится при $n = 12000$ об/мин, так как далее $M_{emav} < M_l$.

Вместе с этим важным результатом на рис.3 выявлен и искомый закон регулирования напряжения, который приближенно можно описать линейной зависимостью $U_d \approx 2,8 + 3 \cdot 10^{-3} n$ (В).

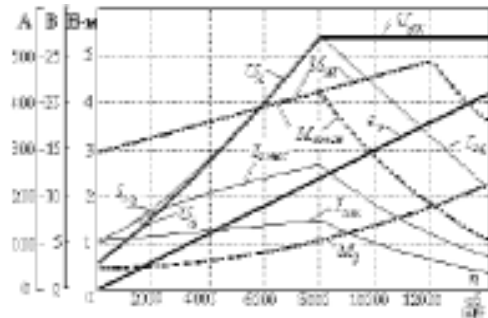


Рис.3. Характеристики стартера при разгоне ГТД

Таким образом, поставленная задача выполняется посредством достаточно простых расчетов с использованием средних значений величин.

Список использованной литературы

1. Вольдек А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.
2. Милых В.И. Анализ условий использования бортового генератора в качестве стартера газотурбинного двигателя / В.И.Милых, Т.П.Павленко // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2010. – № 28. – С.466-467.

Получено 29.06.2011



Милых Владимир Иванович, д.т.н.,
зав.каф. эл.машин
Нац. техн. ун-та «Харьковск. политехн.
ин-т», ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002,
тел. (057) 707-65-14;
e-mail: mvikpi@kpi.kharkov.ua



Полякова
Наталья Владимировна,
асс. каф. «Общая. эл.техника» НТУ
«ХПИ»;
тел. (057) 707-64-27



Юрьева Елена Юрьевна, к.т.н., доц. каф.
эл.машин
НТУ «ХПИ»; тел. (057) 707-68-44;
e-mail: ele6780@yandex.ua