2. Чижков Ю.П. Электрооборудование автомобилей и тракторов: учебник / Ю.П. Чижков. М.: Машиностроение, 2007. – 656 с.
3. Belousov, E.V. Differential twin-engine automobile electric drive/ Belousov, E.V., Savosteenko, N.V., Funk, T.A., Denisova, T.V., Rumyantseva, E.A. //, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 537, Issue 6.
4. Квайт С.М. Пусковые качества и система пуска автотракторных двигателей / Квайт С.М., Менделевич Я.А., Чижков Ю.П. М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
5. Savosteenko, N.V. Starter-Generator Differential Electric Drive of the Medium-Powered Industrial Vehicles / Savosteenko, N.V., Shishkov, A.N., Bychkov, A.E. // 2019 IEEE Russian Workshop on Power Engineering and Automation of Metallurgy Industry: Research and Practice, PEAMI 2019.
6. Морозов В.В. Электрооборудование тракторов и автомобилей: учебное пособие/ сост. Морозов В.В., Гуляев Д.В., Павлов А.Н. – Великие Луки: редакционно-издательский центр ВГСХА, 2011. – 226 с.
7. Волков В.Е. Системы и способы пуска автотракторных двигателей/ В.Е. Волков // Актуальные вопросы совершенствования военной и специальной техники «Прогрессивные технологии в транспортных системах». 2019.–С. 88-96
8. A.N. Shishkov Features of frequency analysis of torque control loop in AC electric drives / A.N. Shishkov, D.A. Sychev, N.V. Savosteenko, M.N. Krupnova, A.A. Zemlyansky // Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering. 2017, vol. 17, no. 2, pp. 75–81.

Максимов Н.М., Киселева А.А., Корнякова О.Ю.

Моделирование математической модели дифференциального планетарного редуктора в программе ANSYS

*ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»
(Россия, Челябинск)*

doi: 10.18411/lj-11-2020-76

idsp: ljjournal-11-2020-76

Аннотация

В работе рассмотрен дифференциальный планетарный редуктор, его преимущество в использовании в проектировании стартер-генератора на базе дифференциального электропривода. С помощью расчетов смоделирована математическая модель планетарного редуктора, сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: планетарный редуктор, Виллис, стартер-генератор, математическая модель, ANSYS

Abstract

The paper considers a differential planetary gearbox, its advantage in the design of a starter-generator based on a merging of a differential electric drive. With the help of calculations, a mathematical model of the planetary gearbox was modeled, the corresponding conclusions were drawn.

Keywords: planetary gear, Willys, starter-generator, mathematical model, ANSYS

Благодаря своей простоте исполнения и функционалу планетарный редуктор нашел свое широкое применение в промышленном машиностроении. Главной особенностью является способность редуктора менять передаточные числа для одной и той же планетарной передачи. Также необходимо отметить улучшение массогабаритных показателей механической передачи, ввиду отсутствия радиальных нагрузок, а так как шестерни всегда находятся в механическом контакте между собой, увеличивается срок службы конструкции. Приведенные данные подтверждены успешным внедрением планетарной передачи в отечественную промышленность (гусеничная техника).[1, 2]

Принцип работы дифференциального планетарного редуктора

Планетарный редуктор (см. рисунок 1) включает в себя эпицикл Э, сателлиты Ст, солнечную шестерню С и водило, которое соединено с валами сателлитов

Рисунок 1 – Условно графическое изображение редуктора

Применение дифференциального планетарного редуктора рассмотрено в статье [3]. Здесь изменение передаточного числа помогает реализовать двигательный и генераторный режим работы стартер-генератора. Солнечная шестерня планетарного редуктора крепится с помощью шпонки на вал электрического двигателя, шестерня водила – на вал коленчатого вала ДВС. [4, 5]

Для облегчения расчетов и наглядности работы дифференциального планетарного редуктора стоит задача спроектировать и смоделировать его в программе ANSYS Simplorer. Рассмотрим подробнее работу дифференциального планетарного редуктора и произведем расчет основных параметров.

Расчет параметров дифференциального планетарного редуктора

Определение передаточных отношений (см. рисунок 1) производится по известным из соотношений формулам Виллиса для передач с неподвижными осями.

По формуле Виллиса тормозим водило т.о. определяем передаточное отношение между Э и С

$$\omega_c - \omega_B \cdot (1 - i_{c\varepsilon}^B) - i_{c\varepsilon}^B \cdot \omega_\varepsilon = 0. \quad (1)$$

Рассмотрим двигательный режим работы. При блокировке эпицикла (Э) получаем:

$$\frac{\omega_c}{\omega_B} = (1 - i_{c\varepsilon}^B) = i_{c\varepsilon}^B. \quad (2)$$

т.о. нашли передаточное отношение между С и В.

Также из теоретической механики известно, что передаточное число можно определить по отношению зубьев и радиусов двух шестерен, следовательно,

$$i_{c\varepsilon}^B = \frac{\omega_c}{\omega_\varepsilon} = -\frac{r_\varepsilon}{r_c} = -\frac{z_\varepsilon}{z_c}. \quad (3)$$

Знак минус указывает на то, что шестерни вращаются в противоположные стороны.

Имеем:

$$i_{c\varepsilon}^B = 1 - i_{c\varepsilon}^B = 1 + \frac{r_\varepsilon}{r_c} = 1 + \frac{z_\varepsilon}{z_c} = \frac{z_c + z_\varepsilon}{z_c}. \quad (4)$$

где, $i_{c\varepsilon}^B$ принято обозначать k и называют параметром элементарного ряда, следовательно:

$$\omega_c - (k + 1) \cdot \omega_B + k \cdot \omega_\varepsilon = 0. \quad (5)$$

при последовательной блокировке звеньев получим:

$$\omega_c = 0; \frac{\omega_B}{\omega_\varepsilon} = \frac{k}{k + 1}; \frac{\omega_\varepsilon}{\omega_B} = \frac{k + 1}{k} = i_{\varepsilon B}^C; \quad (6)$$

$$\omega_B = 0; \omega_c + k \cdot \omega_\varepsilon = 0; \frac{\omega_c}{\omega_\varepsilon} = -k = i_{c\varepsilon}^B; \quad (7)$$

$$\omega_\varepsilon = 0; \omega_c - (k + 1) \cdot \omega_B = 0; \frac{\omega_c}{\omega_B} = k + 1 = i_{cB}^\varepsilon. \quad (8)$$

Далее рассмотрим генераторный режим работы, так называемая блокировка дифференциала, то есть $\omega_c = \omega_3 = 0$ при этом:

$$\begin{aligned}\omega_c - (k + 1) \cdot \omega_B + k \cdot \omega_c &= 0; \\ \frac{\omega_c}{\omega_B} &= 1.\end{aligned}\quad (9)$$

Значит передаточное число всего механизма равно 1.

$$i_{CB} = 1; i_{c3} = 1; i_{3B} = 1;$$

Таким образом, при работе в генераторном режиме передаточное число редуктора будет равно 1, таким образом, скорость ДВС на холостом ходу будет равна частоте вращения генератора.

$$\omega_{\text{ДВС}} = \omega_3 = \omega_B = \omega_c = \omega_{\text{сг}}$$

Связь между моментами основных звеньев дифференциала устанавливается при условии равновесия сателлита. [6]

Для того чтобы рассчитать типоразмеры планетарного редуктора, примем номинальные параметры солнечной шестерни. Принимается число зубьев $z_c = 10$ и радиусом шестерни $r_c = 15$ мм. Найдем число зубьев и радиус эпицикла:

$$r_3 = r_c \cdot i_{c3}^B = 15 \cdot 10 = 150 \text{ мм.}$$

$$z_3 = i_{c3}^B \cdot z_c = 10 \cdot 10 = 100 \text{ зубьев.}$$

Моделирование дифференциального планетарного редуктора

Благодаря полученным данным моделируется математическая модель дифференциального планетарного редуктора. За основу проектирования возьмем формулы приведенные выше. Для этого создадим ее в программе ANSYS в среде Simplorer.

Рисунок 3 – Математическая модель дифференциального планетарного редуктора

Математическая модель работает следующим образом: первоначально необходимо задать количество зубьев солнечной шестерни и эпицикла в блоки «Z_sungear» и «Z_epicycle» соответственно. Далее необходимо задать угловую скорость каждой шестерни, для исследования разных режимов блокировки планетарного редуктора, таких как с заторможенным эпициклом, эпициклом и солнечной шестерней и т.д. Для этого в блоки «W_sungearZ», «W_epicycleZ» и «W_droveZ» задаются значения скоростей. После расчета данной математической модели на выходе блоков «W_sungear» и «W_drove» снимается скорость на валу солнечной шестерни и водила планетарного редуктора.

Например, заблокируем между собой эпицикл и солнечную шестерню, моделируя тем самым режим генератора (передаточное число равно 1), тогда «W_sungearZ» = 0, «W_epicycleZ» = 0 и «W_droveZ» = 10. Далее проверяем результаты расчетов.

Рисунок 4 – Скорость солнечной шестерни при блокировке эпицикла и солнечной шестерни между собой

Таким образом, можно сказать что модель работает корректно.

Результаты исследований

Благодаря полученным результатам работы, смоделирована математическая дифференциального планетарного редуктора на основе по известным формулам Виллиса для передач с неподвижными осями, проведены соответствующие расчеты. Полученные знания необходимо использовать при проектировании стартер-генератора на базе дифференциального электропривода.

1. Петров А.В. Планетарные и гидромеханические передачи колесных и гусеничных машин/ М. Машиностроение, 1966. – 388 с.
2. Чишков Ю.П. Электрооборудование автомобилей и тракторов: учебник / Ю.П. Чишков. М.: Машиностроение, 2007. – 656 с.
3. Savosteenko, N.V. Starter-Generator Differential Electric Drive of the Medium-Powered Industrial Vehicles / Savosteenko, N.V., Shishkov, A.N., Bychkov, A.E. // 2019 IEEE Russian Workshop on Power Engineering and Automation of Metallurgy Industry: Research and Practice, PEAMI 2019.
4. Максимов Н.М. Моделирование синхронного генератора с наружным ротором на постоянных магнитах / Максимов Н.М., Савостеев Н.В., Семенова К.Д., Киселева А.А., Панов К.Э. // Тенденции развития науки и образования. – 2019, – № 54-1, – С.46-50.
5. A.N. Shishkov Features of frequency analysis of torque control loop in AC electric drives / A.N. Shishkov, D.A. Sychev, N.V. Savosteenko, M.N. Krupnova, A.A. Zemlyansky // Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering. 2017, vol. 17, no. 2, pp. 75–81.
6. В. Н. Кудрявцев, Ю. Н. Кирдяшев, Е. Г. Гинзбург Планетарные передачи. Справочник. Под ПЗ7 ред. докторов техн. наук В. Н. Кудрявцева и Ю. Н. Кирдяшева. Л., «Машиностроение» (Ленинградское отделение), 1977.

Морхов А.И., Орлова Г.М., Шацкая Л.А.

Определение периодичности проведения диагностическое обследования участков магистральных газопроводов

*Самарский государственный технический университет
(Россия, Самара)*

doi: 10.18411/lj-11-2020-77

idsp: ljjournal-11-2020-77

Аннотация

В настоящее время большое внимание уделяется вопросу определения длительности междиагностического периода в связи с переходом на стратегию технического обслуживания и ремонта (ТОР) магистральных газопроводов (МГ) в