

2. Кучур, С.С. Применение математических методов в решении инженерных задач / С.С. Кучур, Ю.В. Климов, Г.А. Самко. – Минск: БНТУ, 2002. – 53 с.

3. Кучур, С.С. Лабораторные работы по дисциплине «Научные исследования и решение инженерных задач» / С.С. Кучур. – Минск: БНТУ, 2001. – 95 с.

УДК 65-235

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ,
ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИИ ПЕРЕДАЧ**
**THEORETICAL STUDY OF THE WORKING PROCESSES,
OCCURRING WHEN SHIFTING GEARS**

Сильченко Н.Н., инженер (Харьковский национальный
автомобильно-дорожный университет (ХНАДУ))

Silchenko N., Engineer
(Kharkov National Automobile and Highway University (KhNAHU))

Аннотация. *Рассмотрены результаты проведенных теоретических исследований процесса переключения передач.*

Abstract. *The Results of conducted theoretical Researches of gear-change process are considered.*

Введение

На современном этапе развития транспортной техники происходит быстрая смена выпускаемых моделей при интенсивном процессе модификации выпускаемых моделей, возрастании числа новых разработок, что обеспечивает автомобилям более высокие потребительские качества и конкурентоспособность на рынках сбыта. Автоматизирование управления агрегатами автомобилей является важной задачей. Это способствует увеличению срока службы двигателя и трансмиссии, повышению проходимости и комфортабельности за счет более плавного изменения момента на ведущих колесах, увеличивает производительность выполнения транспортных работ.

Целью исследования является совершенствование электромеханического механизма переключения передач путем выбора режима работы, силового электродвигателя системы управления.

В соответствии с поставленной целью возникла необходимость в решении следующих задач:

– выполнить теоретические исследования рабочих процессов протекающих при переключении передач

– выполнить теоретическое исследование электромеханического механизма переключения передач и обосновать параметры управления им

Для расчета параметров эффективности системы необходимо создать математическую модель, позволяющую выявить зависимость исследуемых критериев от параметров системы и внешней среды, структуры и алгоритмов взаимодействия элементов в системе. Математическая модель является аналогом проектируемой системы и основой для решения главных задач системного подхода.

Для каждой проектируемой системы можно построить несколько математических моделей. Степень адекватности их реальной системе определяется постановкой задачи проектирования. Однако общее требование к любой модели состоит в том, что ее математическое описание должно с заданной точностью отражать существенные свойства, присущие конкретной системе [1].

Для коробки передач автомобиля КамАЗ математическая модель учитывает возможные переключения синхронизаторов. Моделирование процесса переключения передачи состоит из нескольких вариантов переключения:

- переключение передачи в основной коробке без участия делителя;
- переключение синхронизатора в делителе без участия основной коробки передач;

- синхронное переключение, как в делителе, так и в коробке передач.

В работе уделили внимание процессу переключения передачи в основной коробке без участия делителя, а другие варианты не рассматривались.

Во время моделирования были введены следующие предположения:

- выключение передачи происходит мгновенно;
- моделирование начинается с момента выключения предыдущей передачи (с момента разъединения синхронизатора и шестерни предыдущей передачи);

- динамическая стадия нарастания усилия на синхронизаторе происходит за 0,15 с. согласно экспериментальным исследованиям, что проводилось на кафедре автомобилей.

Моделирование рабочих процессов, которые происходят во время переключения передач возможно при наличии информации о геометрических параметрах шестерен и валов, моментов сопротивления качению в подшипниках и чисел зубов шестерен. Схема коробки передач с необходимыми параметрами приведена на рисунке 1.

В соответствии с расчетами, в коробке существуют режимы переключения передач, в которых используется синхронизатор в коробке передач, синхронизатор в делителе и режимы где оба синхронизатора выполняют переключение передач. Рассмотрим отдельно режим переключения, где используется синхронизатор в коробке передач.

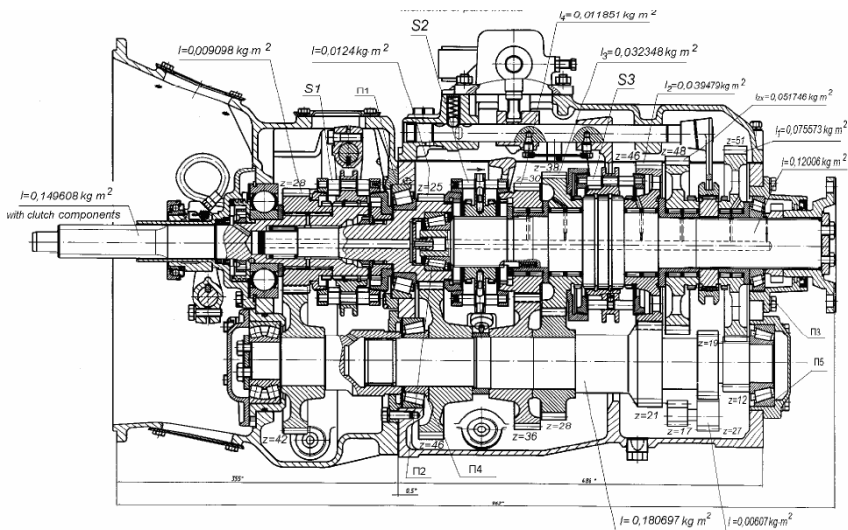


Рисунок 1 – Схема коробки передач с обозначением моментов инерции приведенных вращающихся масс

Во время переключения передач в коробке передач происходит выравнивание скоростей вращения синхронизатора и шестерни, на которую происходит переключение. Для иллюстрации процессов, что происходят во время переключения, запишем уравнение Лагранжа второго рода процесса переключения передач в коробке передач в общем виде.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} = - \frac{\partial \Pi}{\partial q}. \quad (1)$$

Кинетическая энергия вращения элементов коробки передач и поступательного движения транспортного средства запишется в виде

$$T = \frac{m_a \cdot V_a^2}{2} + \frac{J_{II} \cdot \omega_{II}^2}{2}. \quad (2)$$

Изменение потенциальной энергии:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial q} = P_w + P_{\psi} \pm M_{\text{синхр}}. \quad (3)$$

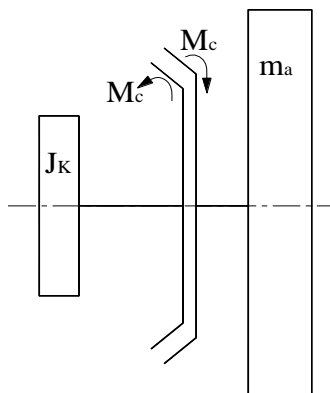


Рисунок 2 – Расчетная схема переключения основной коробки

На рисунке 2 обозначены M_c – момент, который создает синхронизатор; m_a – масса, что имитирует инерцию автомобиля; j_k – момент инерции, что имитирует инерцию шестерен коробки передач.

Система уравнений, что описывает процесс включения передачи, состоит из двух структурных составляющих. Части что описывает вращение шестерен и валов коробки передач и части что описывает замедление транспортного средства во время переключения из одной передачи на другую. Связывая цепью между двумя частями выступает момент, что создается синхронизатором. Система уравнений имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} j_x = \frac{-P_w - P_\psi + M_{\text{синхр}} \cdot \text{sign}(\omega_{\text{ш}} - \omega_{\text{II}}) \cdot \frac{u_0}{r_k} - J_{\text{II}} \cdot \varepsilon_{\text{II}}}{m_a} \\ \varepsilon_{\text{II}} = \frac{j_x \cdot u_0}{r_k} \\ \varepsilon_{\text{ш}} = \frac{-M_{\text{тр}} + M_{\text{синхр}} \cdot \text{sign}(\omega_{\text{II}} - \omega_{\text{ш}}) - \sum (J_i \cdot \varepsilon_i)}{J_{\text{ш}}} \\ \varepsilon_i = \varepsilon_{\text{ш}} \cdot u_i \\ \omega_{\text{II}} = \frac{V_a \cdot u_0}{r_k} \\ \omega_{\text{ш}} = \int \varepsilon_{\text{ш}} dt \\ \omega_{\text{ш}}^0 = \frac{V_a \cdot u_0}{r_k} \cdot u_{\text{II} \rightarrow \text{ш}} \\ V_a^0 = V_{\text{кр}} \end{array} \right. , \quad (1.4)$$

где j_x – замедление транспортного средства, м/с²;
 P_w – сила сопротивления воздуха, Н;

$M_{\text{синхр}}$ – момент который создает синхронизатор, Н.м;
 $\omega_{\text{ш}}$ – угловая скорость шестерни соответствующей передачи, на которую происходит переключение, с^{-1} ;
 ω_{II} – угловая скорость вторичного вала, с^{-1} ;
 J_{II} – момент инерции вторичного вала, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;
 ε_{II} – угловое ускорение вторичного вала, с^{-2} ;
 $r_{\text{к}}$ – радиус колеса, м;
 i_0 – передаточное число главной передачи;
 ε_i – угловое ускорение шестерен коробки передач, с^{-2} ;
 $\varepsilon_{\text{ш}}$ – угловое ускорение шестерен коробки передач с которой сцепляется синхронизатор, с^{-2} ;
 i_i – передаточное число от шестерни с которой сцепляется синхронизатор к i -й шестерни;
 $V_{\text{а}}$ – скорость автомобиля, км/ч;
 $V_{\text{а}}^0$ – начальная скорость автомобиля, км/ч;
 $\omega_{\text{ш}}^0$ – начальная угловая скорость шестерни соответствующей передачи, на которую происходит переключение, с^{-1} ;
 $i_{\text{II} \rightarrow \text{ш}}$ – передаточное число от вторичного вала к шестерне на которую происходит переключение во время включения предыдущей передачи;
 $V_{\text{кр}i}$ – критическая скорость на предыдущей включенной передаче, км/ч;
 $m_{\text{а}}$ – масса автомобиля, кг;
 J_i – момент инерции i -й шестерни, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;
 $J_{\text{ш}}$ – момент инерции шестеренчатые на которую происходит переключение, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;
 $M_{\text{тр}}$ – момент трения подшипников коробки передач, Н м.

Учитывая частоту использования передачи и допустимую удельную работу буксования для каждой передачи существует значение момента, который создает синхронизатор, приемлемое для обеспечения необходимого времени службы синхронизатора.

В ручном режиме переключения водитель прикладывает к рычагу переключения передач не нормируемое усилие потому время синхронизации может отличаться как в большую сторону, так и в меньшую. При использовании электромеханического исполнительного механизма регулирования усилия на рычаге переключения передач реализуется с помощью ограничения тока в обмотке электродвигателя [2, 3].

Решение системы уравнений переключения на более высоких и на низшие передачи проиллюстрировано соответственно на рисунках 3–6. На рисунках изображенное время синхронизации при использовании электромеханического привода с ограничением усилия в рамках допустимой величины.

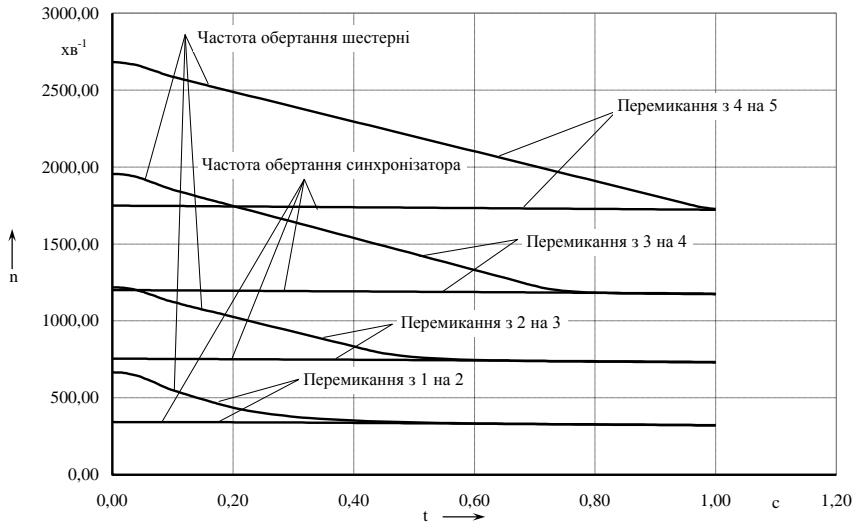


Рисунок 3 – Робочий процес переключення з нижньої передачі на вищу

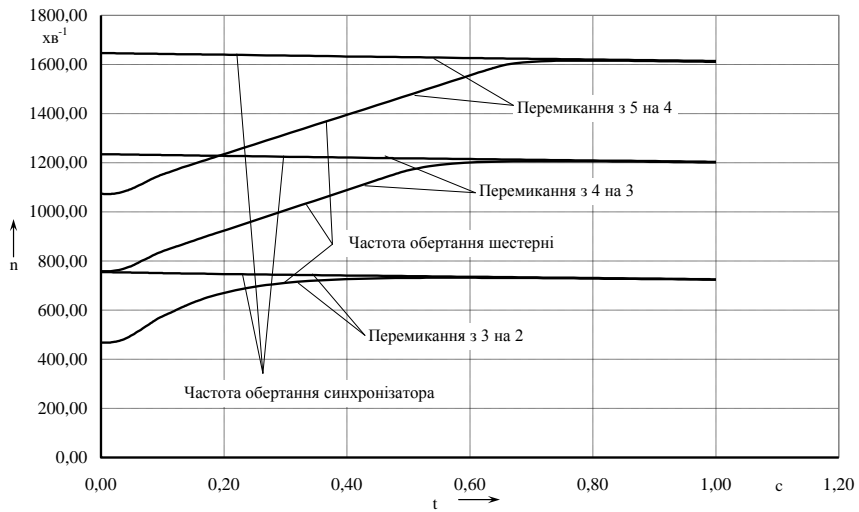


Рисунок 4 – Робочий процес переключення з вищої передачі на більш низьку

Из анализа рабочих процессов переключения передачи заметно, что время полного переключения с учетом выключения и включения сцепления, выключения передачи и перехода через нейтральное положение может длиться порядка 1,5–2 с. За это время скорость автомобиля уменьшается пропорционально сопротивлению воздуха и дорожному сопротивлению.

Одним из наиболее простых и действенных способов уменьшить время синхронизации есть увеличение усилия на синхронизаторе. Одновременно, чтобы сохранить ресурс синхронизатора, необходимо увеличить площадь трения, благодаря чему уменьшается удельная работа буксования [4].

На рисунке 5 приведен рабочий процесс включения передачи без ограничения тока на электродвигателе, что приводит к перегрузке синхронизатора. Во время такого включения наблюдаются ударные нагрузки на синхронизатор после окончания процесса синхронизации.

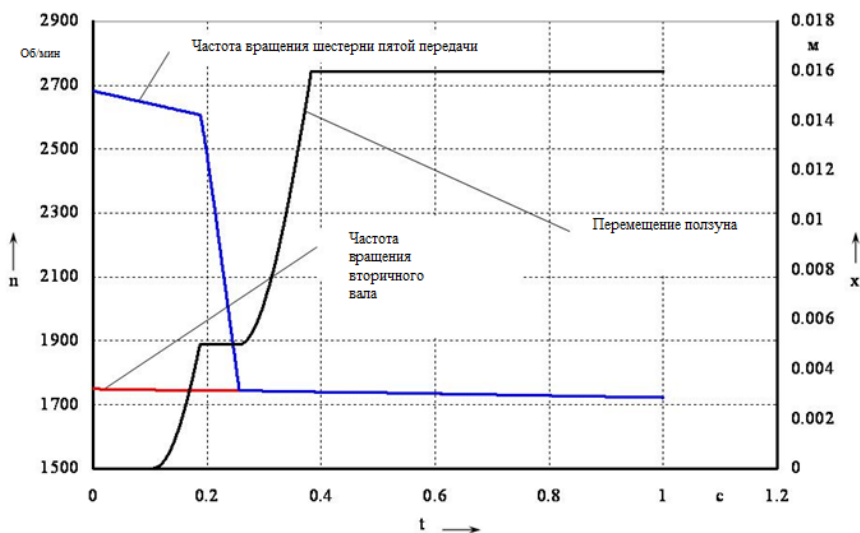


Рисунок 5 – Рабочий процесс движения ползуна во время синхронизации без ограничения тока якоря

Уменьшение нагрузки на синхронизатор происходит за счет ограничения тока на электродвигателе (рисунок 6). Процесс переключения более благоприятен для длительной работы синхронизатора.

Негативной стороной ограничения тока электродвигателя является значительное увеличение времени включения передачи.

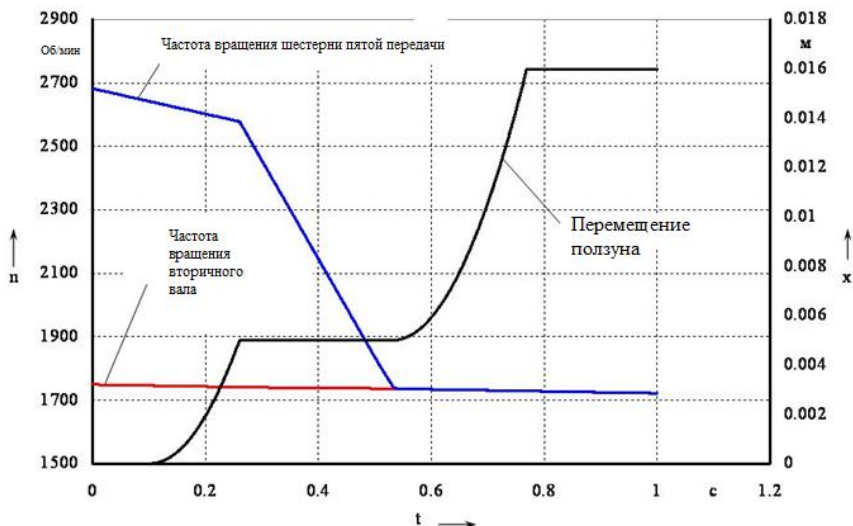


Рисунок 6 – Рабочий процесс движения ползуна во время синхронизации с ограничением тока якоря на уровне 10 А

Литература

1. Кусяк, В.А. Проектирование автоматизированных мехатронных систем управления силовым агрегатом грузовых автомобилей и автопоездов: монография / В.А. Кусяк, О.С. Руктешель. – Минск: БНТУ, 2015. – 295 с.
2. Ключев, В.И. Теория электропривода: учеб. для вузов / В.И. Ключев. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2001 – 704 с.
3. Ковчин, С.А. Теория электропривода: учебник для вузов / С.А. Ковчин, Ю.А. Сабинин. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение, 1994. – 496 с.
4. Гришкевич, А.И. Проектирование трансмиссий автомобилей: справочник / А.И. Гришкевич; под общ. ред. А.И. Гришкевича. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.
5. Ротач, В.Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов / В.Я. Ротач. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЗИ, 2008. – 396 с.
6. Дьяконов, В.П. Справочник по применению системы PC MATLAB. – М.: Физматлит, 1993. – 112 с.
7. Мэтьюз, Джон Г. Численные методы. Использование MATLAB = Numerical Methods: Using MATLAB / Джон Г. Мэтьюз, Куртис Д. Финк. – 3-е изд. – М.: Вильямс, 2001. – 720 с.

8. Дьяконов, В.П. MATLAB 6.5/7.0 + Simulink 5/6. Обработка сигналов и проектирование фильтров. Библиотека профессионала / В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 576 с.

9. Чарльз Генри Эдвардс. Дифференциальные уравнения и проблема собственных значений: моделирование и вычисление с помощью Mathematica, Maple и MATLAB = Differential Equations and Boundary Value Problems: Computing and Modeling / Чарльз Генри Эдвардс, Дэвид Э. Пенни. – 3-е изд. – М.: Вильямс, 2007.

10. Черных И. В. Полезные мелочи // Exponenta PRO. Математика в приложениях. 2003. № 4.

11. Герман-Галкин, С.Г. Синтез цифрового регулятора подчиненной структуры электропривода в пакете Simulink / С.Г. Герман-Галкин, В.В. Кротенко // Exponenta PRO. Математика в приложениях. – 2004. – № 2.

УДК 629.3.01

**СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ ПАССИВОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ СПОРТИВНОГО АВТОМОБИЛЯ КЛАССА
«ФОРМУЛА 1600»**
**STATIC TEST OF RESTRAINT SPORTS CAR CLASS
«FORMULA 1600»**

Туренко А.Н., профессор, доктор технических наук;

Шуклинов С.Н., профессор, доктор технических наук;

Ужва А.В., доцент, кандидат технических наук;

Сергиенко А.В., аспирант, *Шаповаленко В.А.*, инженер

(Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
(ХНАДУ))

Turenko A., Professor, Doctor of Technical Sciences;

Shuklinov S., Professor, Doctor of Technical Sciences;

Uzhva A., Associate Professor, Candidate of Technical Sciences;

Sergienko A., Graduate Student; *Shapovalenko V.*, Engineer

(Kharkiv National Automobile and Highway University (KhNADU))

Аннотация. Проведены виртуальные тесты системы пассивной безопасности спортивного автомобиля, которые являются обязательными при проектировании систем пассивной безопасности для спортивных автомобилей класса Формула Е8.

Abstract. Tests conducted virtual passive safety systems of a sports car, which are mandatory in the design of passive safety of the sports car class Formula E8.