

Боковая (тангенциальная) жесткость шин не является постоянной, а увеличивается с ростом боковой (тангенциальной) силы. Однако в диапазоне эксплуатационных значений P_y , P_x это изменение невелико, им можно пренебречь и считать зависимости $P_y(h_y)$ и $P_x(h_x)$ линейными.

При изменении нормальной нагрузки на колесо существенно изменяются боковая и тангенциальная деформация шин.

Более стабильными являются относительные характеристики:

$$\frac{h_y}{h_z} = \lambda_{шy} \frac{P_y}{P_z}, \quad \frac{h_x}{h_z} = \lambda_{шx} \frac{P_x}{P_z},$$

где: $\lambda_{шy}$ и $\lambda_{шx}$ - коэффициенты относительной боковой и тангенциальной эластичности шины.

Однако и эти характеристики справедливы лишь при ограниченных значениях нормального прогиба шины.

Моделирование процесса пуска при питании стартера от емкостного накопителя энергии

к.т.н. доц. Гармаш Ю.В.

Рязанский военный автомобильный институт

Аннотация. В данной статье приведена разработанная математическая модель работы системы пуска двигателя при питании стартера от емкостного накопителя энергии.

Ключевые слова: стартерный пуск двигателя, математическое моделирование, емкостные накопители энергии.

В работе [1] определена эквивалентная электрическая схема замещения, моделирующая электромеханическую систему пуска двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Ее подключение к аккумуляторной батарее показано на рисунке 1.

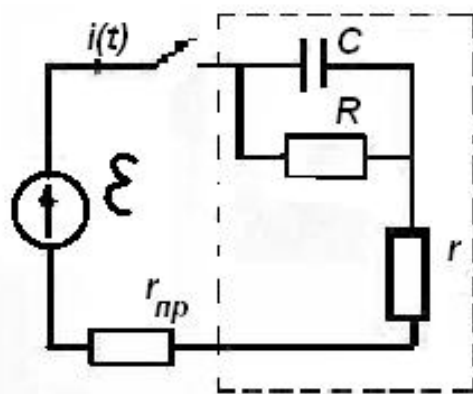


Рисунок 1 – Эквивалентная схема замещения системы стартер коленчатый вал ДВС

На рисунке 1: ε - ЭДС аккумуляторной батареи; $r_{пр}$ - сопротивление проводов; r и R - сопротивления эквивалентной схемы замещения; C - емкость эквивалентной схемы. Как следует из [1], параметры r , R , C схемы замещения зависят от установившейся частоты прокручивания $\omega_{уст}$, которая, в свою очередь, зависит от напряжения, подаваемого на стартер. При питании стартера от накопителя энергии напряжение в процессе пуска уменьшается, что существенно усложняет расчет. В работе [1] мы определяли реакцию эквивалентной схемы на напряжение произвольной величины. Попробуем распространить полученный результат на

изменяющееся напряжение, представив его как совокупность таких ступенек (метод интеграла Дюамеля).

Для схемы, показанной на рисунке 1, реакция цепи на единичную функцию в операторной форме записи $G(p)$ с использованием преобразования Лапласа имеет вид [2]:

$$G(p) = \frac{1}{p \left(r_{np} + r + \frac{R \frac{1}{pc}}{R + \frac{1}{pc}} \right)} = \frac{1 + pRC}{p[r_{np} + r + R + pCR(r + r_{np})]} = \frac{N(p)}{M(p)} \quad (1)$$

где: $N(p)$ и $M(p)$ - полиномы числителя и знаменателя.

Характеристическое уравнение $M(p) = 0$ в данном случае имеет вид:

$$p[r_{np} + r + R + pCR(r + r_{np})] = 0, \quad (2)$$

а его корни $p_0 = 0$; $p_1 = -\frac{r_{np} + r + R}{(r_{np} + r)RC}$.

Тогда, в соответствии с формулой разложения [2]:

$$\begin{aligned} M'(p) &= r_{np} + r + R + 2pRC(r + r_{np}), & M'(0) &= r_{np} + r + R, \\ M'(p_1) &= r_{np} + r + R + 2 \left[-\frac{r_{np} + r + R}{(r_{np} + r)RC} \right] \cdot RC(r + r_{np}) = -(r_{np} + r + R), \\ N(0) &= 1, & N(p_1) &= 1 - \frac{r_{np} + r + R}{(r_{np} + r)RC} \cdot RC = -\frac{R}{r_{np} + r}. \end{aligned}$$

Пользуясь этими выражениями, находим переходную проводимость как функцию времени:

$$g(t) = \frac{N(0)}{M'(0)} + \frac{N(p_1)}{M'(p_1)} \cdot e^{p_1 t} = \frac{1}{r_{np} + r + R} \left[1 + \frac{R}{r_{np} + r} e^{-\alpha t} \right], \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{r_{np} + r + R}{(r_{np} + r)RC} \quad (4)$$

С учетом зависимости r , R и C от подаваемого напряжения (установившейся частоты), формулы (3) – (4) позволяют найти ток эквивалентной схемы замещения при любом начальном напряжении, подаваемом на стартер. Полученный результат позволяет рассчитать ток, потребляемый стартером от емкостного накопителя.

Как следует из [3], накопитель энергии целесообразно заряжать до напряжений более высоких, чем напряжение аккумуляторной батареи. В процессе разряда накопителя напряжение на нем уменьшается, пока не сравняется с напряжением аккумуляторной батареи, после чего аккумуляторная батарея берет часть токовой нагрузки на себя. Пусть $U_n(0)$ - исходное напряжение емкостного накопителя энергии.

Электрическая схема подключения показана на рисунке 2а, а на рисунке 2б - операторная электрическая схема замещения цепи. Здесь и далее введены обозначения: $I(p)$ - изображение тока $i(t)$; $G(p)$ - изображение переходной проводимости $g(t)$.

Поскольку напряжение из-за разряда накопительной емкости C_n снижается, выражение для тока $i(t)$ может быть записано в виде интеграла Дюамеля [2]:

$$i(t) = U_n(0) \cdot g(t) + \int_0^t u'(\tau) g(t - \tau) d\tau \quad (5)$$

где: $U_n(0)$ - начальный скачок напряжения на входе цепи (при замыкании контактов тягового реле); $g(t)$ - переходная проводимость; $u'(\tau)$ - производная входного напряжения; $\int_0^t u'_n(\tau) g(t - \tau) d\tau$ - интеграл свертки.

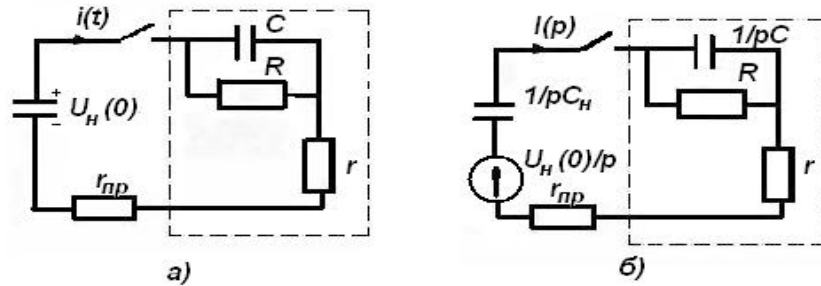


Рисунок 2 – Подключение накопителя энергии к эквивалентной схеме (а) и операторная схема замещения

Производная $u'(\tau)$ по очевидным причинам может быть определена следующим образом:

$$u'_n(t) = \frac{du_n(t)}{dt} = -\frac{i}{C_n} \quad (6)$$

Это позволяет записать интеграл свертки в виде [4]:

$$\int_0^t u'(t) g(t - \tau) d\tau = -\frac{1}{C_n} \int_0^t i(t) \cdot g(t - \tau) d\tau = -\frac{1}{C_n} I(p) G(p) \quad (7)$$

Тогда интеграл Дюамеля в операторной форме принимает вид:

$$I(p) = U_n(0) \cdot G(p) - \frac{1}{C_n} I(p) \cdot G(p) \quad (8)$$

$$I(p) = \frac{U_n(0) \cdot C_n \cdot G(p)}{C_n + G(p)} \quad (9)$$

откуда

Напряжение на накопителе энергии уменьшается по очевидному закону:

$$u_n(t) = U_n(0) - \frac{1}{C_n} \int_0^t i(t) dt \quad (10)$$

Отсюда изображение напряжения на накопителе:

$$U_n(p) = \frac{U_n(0)}{p} - \frac{1}{pC_n} I(p) \quad (11)$$

$$\frac{U_n(0)}{p} - \frac{I(p)}{pC_n}$$

где: $\frac{U_n(0)}{p}$ - изображение постоянной; $\frac{I(p)}{pC_n}$ - изображение интеграла в правой части.

Учитывая (9), получим:

$$U_n(p) = \frac{U_n(0)}{p} - \frac{1}{p} \cdot \frac{U_n(0) \cdot G(p)}{C_n + G(p)} = \frac{U_n(0)}{p} \left[1 - \frac{G(p)}{C_n + G(p)} \right] = \frac{U_n(0)}{p} \cdot \frac{C_n}{C_n + G(p)} \quad (12)$$

Используя уравнения (9) и (12), можно определить ток стартера и напряжение на накопителе энергии для рассматриваемого режима (с насыщающимся стартером), подставив (1) в (9) и (12), получим:

$$I(p) = \frac{U_n(0) \cdot C_n(1 + pRC)}{p^2(r + r_{np}) \cdot RCC_n + p[RC + (r + r_{np}) \cdot C_n + RC_n] + 1} = \frac{N_1(p)}{M_1(p)} \quad (13)$$

$$U(p) = \frac{U_n(0) \cdot C_n[r + r_{np} + R + p(r_{np} + r) \cdot RC]}{p^2(r + r_{np}) \cdot RCC_n + p[RC + (r + r_{np}) \cdot C_n + RC_n] + 1} = \frac{N_2(p)}{M_1(p)} \quad (14)$$

Корни характеристического уравнения $M_1(p) = 0$:

$$p_{1,2} = -\delta \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{2}{[RC + (r_{np} + r) \cdot C_n + RC_n] \cdot \delta}} \right], \quad (15)$$

$$\delta = \frac{RC + (r_{np} + r) \cdot C_n + RC_n}{2rRCC_n} \quad (16)$$

где:

Для дальнейшего анализа соотнесем постоянную времени эквивалентной схемы замещения с постоянной времени разряда накопителя энергии. Как следует из рис. 15 работы [5], она для эквивалентной схемы составляет $\sim 0,5$ с. В то же время [6] время прокручивания коленчатого вала карбюраторного ДВС около 10 с (дизельного ~ 15 с). В течение этого времени накопитель должен поддерживать частоту прокручивания коленчатого вала не ниже пусковой, то есть напряжение на нем должно убывать достаточно медленно, потому режим разряда накопительной емкости C_n можно считать квазиустановившимся. Емкость накопителя C_n должна быть много больше емкости C эквивалентной схемы замещения, выражение (16) упрощается:

$$\delta \cong \frac{r + r_{np} + R}{2(r + r_{np}) \cdot RC} \quad (17)$$

а (15) при разложении в ряд дает:

$$p_{1,2} = -\delta \left[1 \pm \left(1 - \frac{1}{(r_{np} + r + R)\delta C_n} \right) \right], \quad (18)$$

$$p_1 = -2\delta = -\frac{r + r_{np} + R}{(r_{np} + r)RC} = -\alpha \quad (19)$$

$$p_2 \approx -\delta \left[1 - 1 + \frac{1}{(r_{np} + r + R)\delta C_n} \right] = -\frac{1}{(r_{np} + r + R)C_n} = -\frac{1}{\tau} \quad (20)$$

$$\tau = (r_{np} + r + R)C_n \quad (21)$$

где:

Применяя теорию вычетов [2, 4] получим:

$$i(t) = \frac{U_n(0)}{r_{np} + r + R} \left[e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{R}{r_{np} + r} e^{-\alpha t} \right], \quad (22)$$

$$u_n(t) = U_n(0) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (23)$$

Как следует из (22), максимальное значение тока в цепи:

$$i(0) = \frac{U_n(0)}{r_{np} + r} \quad (24)$$

Очевидно, что вращающий момент обусловлен только частью $u_n(t)$, которая приложена к сопротивлениям r и R (в него не входит падение напряжения на сопротивлении r_{np}). Обозначим как $u(t)$ напряжение, создающее вращающий момент:

$$u(t) = u_n(t) - i(t)r_{np} \quad (25)$$

После подстановки (22) и ряда преобразований получим:

$$u(t) = \frac{U_n(0)}{\frac{r_{np}}{r+R} + 1} \left\{ e^{-\frac{t}{\tau}} - \frac{1}{\left(\frac{r}{r_{np}} + 1\right) \left(\frac{r}{R} + 1\right)} e^{-\alpha t} \right\} \quad (26)$$

Выражение (26) определяет то искомое напряжение, которое необходимо стартеру для оптимизации пуска ДВС и диктует требования, предъявляемые к накопителю энергии.

Литература

1. Айзензон А.Е., Гармаш Ю.В., Латахина Е.В. Модель работы системы электропуска ДВС. Автомобильная промышленность, № 5, 2004, с.16-18.
2. Зевеке Г.В., Ионкин И.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. Издание 5-е. - М.: Энергоатомиздат, 1989, - 528 с.
3. Фесенко М.Н., Чижков Ю.П. Емкостные накопители энергии в электрооборудовании транспортных средств. Грузовик, № 8, 1999, с. 11 – 15.
4. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике. М.: “Наука”, 1986, 544 с.
5. Квейт С.М., Менделевич Ю.П., Чижков Ю.П. Пусковые качества и системы пуска авто-тракторных двигателей. М.: Машиностроение, 1990, с.51, - 256 с.
6. Оберемок В.З., Юрковский И.М. Пуск автомобильных двигателей. М.: Транспорт, 1979, - 118 с.

Свободные колебания управляемых колес легкового автомобиля

д.т.н. проф. Глейзер А.И., Емельянов С.Р., к.т.н. доц. Лата В.Н., Ермолин А.В.
Тольяттинский государственный университет

Статья посвящена исследованию влияния демпфирования в элементах ходовой части автомобиля и плеча стабилизации управляемых колес на их свободные колебания.

Ключевые слова: свободные колебания управляемых колес автомобиля.

Стабилизация движения автомобиля в значительной степени определяется характером свободных угловых колебаний управляемых колес и позволяет использовать применительно к рассматриваемой задаче понятие устойчивости систем по первому приближению и определение устойчивости, данное Ляпуновым [1].

Расчетная схема показана на рисунке 1.

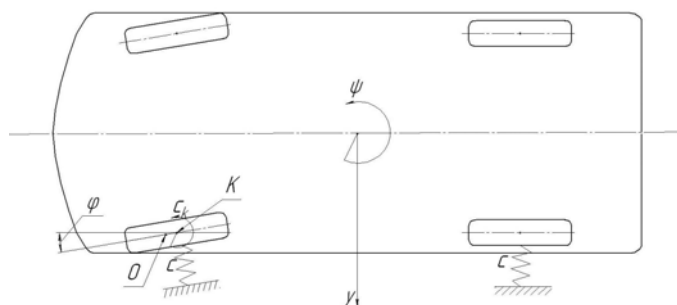


Рисунок 1

На схеме точка О определяет ось поворота колеса, т. К - центральную точку площадки контакта колес с дорогой, т. Р- мгновенный центр скоростей.

Исследование выполняется на базе математической модели, разработанной для анализа вынужденных колебаний управляемых колес автомобиля [2, 3]. Для исследования свободных