

**Кривые намагничивания тяговых
электродвигателей и их аппроксимация**

Равино В. В., Сацукевич В. Н., Галямов П. М.*

Белорусский национальный технический университет
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси*

Введение. Динамическая нагруженность трансмиссий троллейбусов в значительной степени определяется характером протекания переходного процесса трогания.

За весь пробег троллейбуса до списания, установленный в 600 тыс. км, процессы трогания повторяются более $6 \cdot 10^5$ раз. При этом в трансмиссии возникают динамические нагрузки, приводящие к снижению срока службы зубчатых колес главной передачи троллейбуса, средний срок службы которых для троллейбуса модели ЗИУ–9В составляет 45 тыс. км [1]. Таким образом, в существующих троллейбусах процесс трогания протекает неудовлетворительно с точки зрения динамической нагруженности трансмиссии и нуждается в корректировке.

Постановка задачи. Характер переходного процесса в силовом агрегате автотранспортных средств определяется характеристиками двигателя и системы управления им [2]. Следовательно, снизить динамическую нагруженность трансмиссии троллейбуса при трогании возможно путем синтеза рациональных законов управления крутящим моментом тягового электродвигателя в этот период. Решением поставленной задачи могла бы стать система автоматического управления крутящим моментом тягового электродвигателя, однако она сложна в реализации. Поэтому на троллейбусах используют электропривод с обратной связью по току якоря тягового электродвигателя. При этом автоматически поддерживается ток якоря тягового электродвигателя на задаваемом уровне при изменении скорости троллейбуса с нуля вплоть до выхода тягового электродвигателя на естественную характеристику за счет увеличения напряжения, подводимого к якорной цепи. Т.к. в этот период разгона троллейбуса выбирается окружной люфт трансмиссии, то для исследования переходного процесса трогания достаточно ограничиться рассмотрением процессов, происходящих до выхода тягового электродвигателя на естественную характеристику, и

не рассматривать последующее ослабление поля. На этом этапе разгона водитель имеет возможность задать любой пусковой ток, а также темп его нарастания [3, с. 244]. При недостаточной квалификации водителя возможно скачкообразное задание максимального тока и резкий рывок троллейбуса. Поэтому на современных троллейбусах сигнал с датчика положения ходовой педали подается на систему автоматического регулирования тока якоря через задатчик интенсивности, который формирует необходимую плавность движения троллейбуса за счет формирования линейного закона нарастания тока якоря тягового электродвигателя при разгоне до значения, заданного водителем [4]. Но линейная характеристика задатчика интенсивности не является оптимальной с точки зрения процесса выборки окружного люфта при трогании, т.к. при этом по мере роста окружного люфта трансмиссии растет крутящий момент двигателя, при котором люфт выбирается, что увеличивает динамическую нагрузку трансмиссии по мере ее эксплуатационного износа.

Поиск оптимальных законов нарастания тока якоря тягового электродвигателя целесообразно вести на комплексной математической модели «система управления – двигатель – трансмиссия», где система управления моделируется как источник тока, ток которого нарастает при трогании в соответствии с характеристикой задатчика интенсивности. Поскольку при разгоне троллейбуса с нуля до естественной характеристики тягового электродвигателя ток якоря и крутящий момент последнего увеличиваются монотонно, то моделирование выполняется без учета гистерезисных явлений в магнитной системе, а связь между магнитным потоком и током возбуждения представляется по-

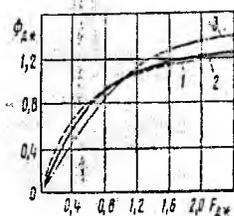


Рис. 1 – Кривые намагничивания

средством кривой намагничивания, а не полной петли гистерезиса.

В литературе кривые намагничивания тяговых электродвигателей приводятся в графической форме. На рис. 1 [5, с. 53] показаны кривые намагничивания тяговых электродвигателей электропозвучника (1), автомобиля БелАЗ с электротрансмиссией (2) и троллейбуса (3).

Однако для компьютерного моделирования динамики троллейбуса кривую

намагничивания необходимо представить в аналитическом виде. При этом наибольшие затруднения вызывает перевод графически заданных кривых в табличную форму.

Аппроксимация кривой намагничивания осуществлялась с помощью программного пакета GetData, где автоматически были получены координаты ста точек графика. Затем эта зависимость аппроксимировалась с помощью пакета Advanced Grapher, где также рассчитывался критерий R^2 , характеризующий степень близости табличной и функциональной кривых. Было установлено, что наиболее точную аппроксимацию ($R^2=0,999$) дает полином шестой степени вида

$$\Phi^* = -0,0291693(F^*)^6 + 0,19309(F^*)^5 - 0,404478(F^*)^4 + \\ + 0,230369(F^*)^3 - 0,177845(F^*)^2 + 1,19443F^*.$$

Приведенное выражение использовалось при моделировании работы тягового электродвигателя при трогании. На основе математической модели синтезирован закон управления крутящим моментом тягового электродвигателя троллейбуса при трогании, обеспечивающий уменьшение максимального динамического момента в трансмиссии на 10–20% по сравнению с существующим в зависимости от величины ее окружного люфта.

Литература

1. Карманов, К. Н. Диагностирование ведущих мостов троллейбусов ЗИУ–9В / К. Н. Карманов // Автомобильная промышленность. – 1999. – № 12. – С. 18–19.
2. Захарик, Ан. М. Многоструктурный закон управления трансмиссией автотранспортных средств / Ан. М. Захарик, Ю. М. Захарик // Вестник машиностроения. – 2007. – № 3. – С. 41–44.
3. Ефремов, И. С. Теория и расчет троллейбусов (электрическое оборудование): в 2 ч. / И. С. Ефремов, Г. В. Косарев. – М.: Высшая школа, 1981. – Ч. 2. – 248 с.
4. Быцко, О. В. Белорусский троллейбус – новые технические решения / О. В. Быцко // Металл-инфо. – 2005. – № 11. – С. 28–30.
5. Электрические трансмиссии пневмоколесных транспортных средств / И. С. Ефремов [и др.]. – М.: Энергия, 1976 – 256 с.