

УДК 629:113

С.М. Огороднов, С.Г. Синичкин

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОРМОЗНОГО УПРАВЛЕНИЯ
С МАГНИТОСТРИКЦИОННЫМ ПРИВОДОМ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены конструктивные особенности известных приводов тормозов транспортных средств. Предложено использование магнитоотрицательных приводов тормозов. Отмечено преимущество магнитоотрицательного привода по сравнению с известными типами, в том числе хорошая совместимость с микропроцессорными системами автоматического управления. Расчетными методами определена эффективность торможения транспортных средств с гидравлическим и магнитоотрицательным приводами.

Ключевые слова: транспортное средство, тормозное управление, магнитоотрицательный привод, эффективность торможения.

В условиях постоянного увеличения парка автомобилей и возрастания интенсивности транспортных потоков задачи повышения безопасности движения становятся первоочередными при разработке конструкции транспортных средств. Одной из наиболее значимых проблем активной безопасности, влияющей на тяжесть последствий дорожно-транспортных происшествий, является повышение эффективности тормозного управления. До настоящего времени эффективность рабочей тормозной системы обеспечивалась совершенствованием конструкций тормозных механизмов и приводов. Известны механические, гидравлические, пневматические, электрические и гибридные (комбинированные) приводы [1], имеющие свои особенности, достоинства и недостатки.

В тормозных системах транспортных и транспортно-технологических машин привод состоит из задатчика, формирующего управляющий, а в некоторых случаях и силовой сигналы, передающих и исполнительных устройств, в которых управляющий сигнал преобразуется в силовое воздействие с помощью рабочего тела (жидкость или сжатый воздух). Исполнительный элемент соединен с фрикционными элементами, перемещающимися относительно подвижной части тормозного механизма, движение которой необходимо замедлить. В приводах, за исключением электрических, используется рабочее тело (жидкость или воздух), обеспечивающее передачу энергии к тормозам.

Тормозные приводы современных автомобилей, кроме функциональных элементов, выполняющих управляющие и исполнительные функции, содержат усилители, регуляторы, корректирующие устройства, повышающие быстродействие и другие устройства, усложняющие конструкцию. В тормозных приводах, работающих на сжатом воздухе, дополнительно используются системы подготовки воздуха, работающие за счет энергии двигателя. Рабочее тело может теряться из привода вследствие неисправности его конструктивных элементов, поэтому тормозные приводы транспортных средств многократно дублируются.

Указанные конструктивные особенности приводов определяют недостатки тормозных систем: необходимость разделения цепей управления, обратных связей и силовых, организации сложного взаимодействия структурных элементов цепей, преобразования параметров различной физической природы, существенное усложнение конструктивной схемы тормозной системы, снижение надежности, значительные габаритные размеры и массы конструктивных элементов, высокую стоимость в производстве и эксплуатации. Комбинированные электрогидравлические и электропневматические приводы существенно не изменяют структурную схему привода и характера недостатков, но позволяют разместить приборы и оборудование тормозного привода вблизи тормозного механизма, обеспечивая повышение быстродействия тормозов.

Тормозная система с магнитострикционным приводом существенно отличается от известных типов систем тормозного управления.

Магнитострикционный эффект заключается в изменении линейных размеров или закручивании образца из магнитострикционного материала при его намагничивании. В качестве магнитострикционных материалов используют ферромагнетики, редкоземельные и интерметаллические материалы, обладающие большим магнитострикционным эффектом. При намагничивании магнитострикционных материалов возникает магнитное взаимодействие электронов, в результате приводящее к изменению межатомного расстояния и деформации кристаллической решетки. Намагничивание возможно за счет размещения магнитострикционных материалов в магнитном поле, создаваемом током, протекающим по обмотке индукционной катушки. Это свойство магнитострикционных материалов позволяет использовать их в качестве активных преобразователей различных типов.

Магнитострикционные преобразователи используют в системах компенсации колебаний и демпфирующих устройствах различных конструкций, для активных клапанов, в нажимных устройствах прокатных станков, излучателях акустических волн, измерителях перемещения, вибраторах и других технических устройствах. Использование магнитострикционных преобразователей в тормозных системах ТС позволяет осуществить управление тормозами с помощью электрических сигналов и автоматизировать этот процесс, интегрировать процессор тормозной системы с устройствами автоматического управления рабочими процессами систем и агрегатов, упростить структурную схему привода, уменьшить время срабатывания тормозной системы.

Тормозное управление с магнитострикционным преобразователем (рис. 1) содержит задатчик 1 тормозного усилия (педаль), преобразователь 2 тормозного усилия в электрический сигнал, средства передачи сигнала 3, усилитель мощности 4, один из выходов которого подключен к источнику электроэнергии, другой к преобразователю 2. Исполнительный механизм 6 содержит электромагнитные катушки 7 с сердечниками 8 из магнитострикционного материала, воздействующими на колодки 9 и тормозной диск 10. Для увеличения перемещения и регулирования силового передаточного числа возможно использование дополнительных преобразователей механического или гидравлического типов.

Технический результат использования тормозов с магнитострикционным приводом заключается в повышении надежности и увеличении быстродействия тормозной системы, повышении точности регулирования силы исполнительного устройства и тормозного момента, уменьшении количества устройств, приборов, агрегатов, механизмов, реализации простых способов взаимодействия с конструктивными элементами автоматических систем активной безопасности, снижении габаритов, массы элементов и стоимости тормозной системы.

Существенным недостатком известных типов приводов, влияющим на эффективность торможения ТС, является их конструктивная особенность, отображаемая тормозной диаграммой [2]. Тормозная диаграмма отображает последовательность процессов при торможении, зависимость замедления и скорости движения автомобиля от времени. Начало координат, соответствует моменту времени, начиная с которого водитель принимает решение о необходимости торможения (рис. 2).

Первый период процесса определяется временем реакции водителя $\tau_{рв}$, в среднем равного $\tau_{рв} = 0,8$ с. Эта часть тормозной диаграммы не отражает конструктивных и эксплуатационных особенностей привода и может не рассматриваться при исследовании особенностей работы тормозных систем различных типов.

Второй период процесса торможения начинается с момента подачи водителем управляющего воздействия и называется *временем запаздывания*. В течение этого времени перемещаются части привода тормозного управления, устраняются зазоры, имеющиеся в исходном состоянии, происходит нарастание давления рабочего тела в трубопроводах, управляющих и исполнительных устройствах до значений, необходимых для преодоления сил трения и упругих сил пружин, а также происходит перемещение колодок до соприкосновения с

вращающимися частями тормозных механизмов. Время запаздывания τ_c существенно зависит от конструкции тормозного управления, типа привода и тормозного механизма и от технического состояния тормозной системы. При расчетах тормозных систем рекомендуют принимать следующие значения времени запаздывания:

- для гидравлического привода с дисковыми тормозными механизмами $\tau_c = 0,05 - 0,07$ с;
- с барабанными тормозными механизмами $\tau_c = 0,1 - 0,2$ с;
- для пневматического привода с барабанными тормозными механизмами одиночных автомобилей $\tau_c = 0,2 - 0,4$ с;
- для автопоездов $\tau_c = 0,4 - 0,6$ с [3].

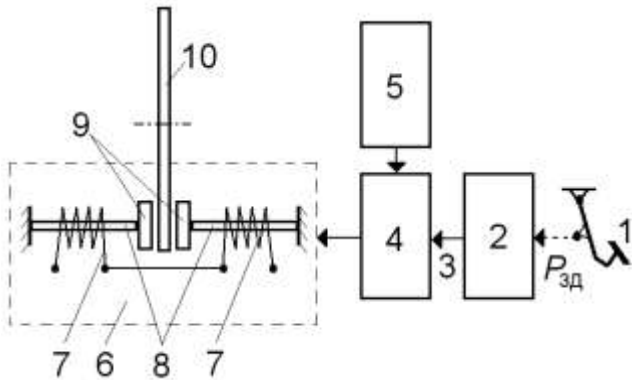


Рис. 1. Тормозное управление с магнестрикционным преобразователем

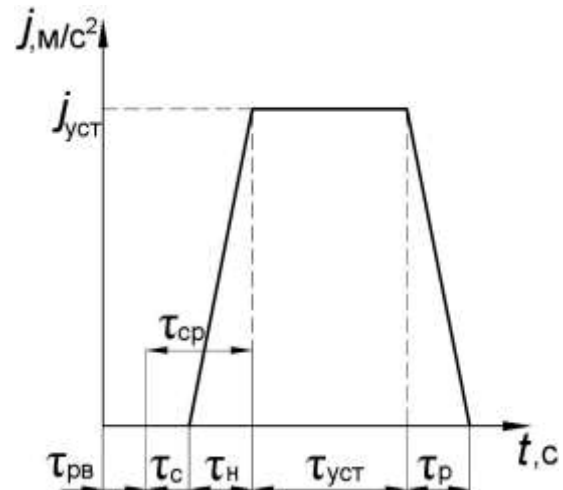


Рис. 2. Тормозная диаграмма ТС по ГОСТ Р 51709-2001

Третий период процесса торможения начинается с момента действия тормозной силы и называется *временем нарастания замедления*. Время нарастания замедления в основном определяется интенсивностью увеличения управляющего воздействия водителя и временем нарастания давления в исполнительных механизмах тормозной системы, зависящим от сопротивлений перетеканию рабочего тела и рабочих объемов аппаратов и устройств. При расчетах тормозных систем рекомендуют принимать следующие значения времени нарастания замедления τ_n :

- для гидравлического привода легковых автомобилей $\tau_n = 0,05 - 0,2$ с;
- грузовых автомобилей $\tau_n = 0,05 - 0,4$ с;
- для пневматического привода грузовых автомобилей $\tau_n = 0,15 - 1,5$ с;
- автобусов $\tau_n = 0,2 - 1,3$ с.

Сумма периодов запаздывания и нарастания замедления называется *временем срабатывания тормозной системы* $\tau_{ср} = \tau_c + \tau_n$. Время срабатывания является нормируемым показателем тормозной эффективности. В соответствии с [2], время срабатывания тормозной системы не должно быть более 0,6 с для ТС категории M_1 и 0,8 с – для ТС категорий M_2, M_3, N_1, N_2, N_3 . Четвертый период процесса торможения характеризуется движением с примерно постоянным замедлением и называется *временем торможения* $\tau_{уст}$ с установившимся замедлением $j_{уст}$. При достижении автомобилем необходимой скорости водитель отпускает тормозную педаль, разжимные силы, действующие на колодки тормозного механизма, уменьшаются, и тормозные силы прекращают действовать при появлении зазора между фрикционными элементами. Этот период называется *временем растормаживания* τ_r .

Тормозная диаграмма автомобиля с магнестрикционным приводом отличается от рассмотренной тем, что практически отсутствуют периоды запаздывания τ_c и нарастания замедления τ_n (рис. 3). Время запаздывания (рис. 1) торможения автомобиля с магнестрик-

ционному приводом практически равно нулю, $\tau_c^M = 0$, так как привод имеет электронное управление, в исходном состоянии отсутствуют зазоры, а перемещение колодок и нарастание разжимной силы в тормозе обеспечиваются с помощью специализированного процессора управления.

Время нарастания замедления для автомобиля с магнитоэлектрическим приводом не зависит от переходных процессов, присущих приводам традиционных конструкций, а в режиме экстренного торможения для этого периода можно не учитывать временную составляющую, определяемую интенсивностью увеличения управляющего воздействия водителя, поэтому можно считать $\tau_n = 0$.

Для анализа эффективности торможения ТС с гидравлическим и магнитоэлектрическим приводами необходимо установить показатели эффективности в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. Правила в отношении торможения установлены единообразными предписаниями, касающимися официального утверждения механических транспортных средств категорий М, N и O ГОСТ Р 41.13-99 и ГОСТ Р 41.13-Н-99. Эффективность, предписанная для тормозных систем, должна основываться на измерении тормозного пути, отнесенного к начальной скорости ТС, и/или среднего значения предельного замедления. Указанными документами тормозной путь определяется как расстояние, пройденное ТС с момента, когда водитель начинает действовать на управление тормозной системы, до остановки ТС. Начальная скорость определяется в момент, когда водитель начинает воздействовать на управление тормозной системы. Среднее значение предельного замедления в соответствии с [1] рассчитывают по формуле

$$d_m = \frac{v_b^2 - v_e^2}{25,92(s_e - s_b)}, \quad (1)$$

где d_m – среднее значение предельного замедления; v_b, v_e – скорости ТС при $0,8v_o$ и $0,1v_o$; v_o – начальная скорость ТС; s_b – расстояние, пройденное при изменении скорости от v_o до v_b ; s_e – расстояние, пройденное при изменении скорости от v_o до v_e .

Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки автотранспортных средств (АТС), эксплуатируемых на дорогах установлены ГОСТ Р 51709-2001. Стандарт применяется при проверках технического состояния эксплуатируемых АТС по критериям безопасности. В частности, требования к рабочей тормозной системе определяются показателями эффективности и устойчивости АТС при торможении. В качестве показателей эффективности при стендовых испытаниях указанный нормативный документ устанавливает удельную тормозную силу или блокирование колес АТС на роликах стенда при ограничении максимальных усилий, действующих на орган управления. Устойчивость АТС определяется относительной разностью тормозных сил колес оси. При проверке в дорожных условиях в качестве показателей эффективности используются величины тормозного пути, установившегося замедления, усилия на органе управления и время срабатывания тормозной системы. Устойчивость при торможении в дорожных условиях оценивается шириной коридора движения АТС без антиблокировочных систем (АБС) и отсутствием следов юза за колесами для транспортных средств с АБС. В соответствии с ГОСТ Р 51709-2001, АТС считают выдержавшими проверку эффективности торможения и устойчивости при торможении рабочей тормозной системой, если рассчитанные значения указанных показателей соответствуют приведенным нормативам удельной тормозной силы, ширины коридора движения и относительной разности тормозных сил колес оси.

Целесообразно выполнить анализ эффективности торможения транспортных средств с различными типами приводов, исключив единообразные факторы. Так как наиболее существенным отличием приводов является тормозная диаграмма, при оценке эффективности торможения не учитываются неравномерность тормозных сил и другие показатели, а в качестве основного критерия принята величина тормозного пути.

При исследовании эффективности торможения считается:

- торможение осуществляется в экстренном режиме с полным использованием сил сцепления;
- торможение осуществляется на горизонтальном прямолинейном участке дороги;
- торможение за время нарастания осуществляется с изменением замедления по линейному закону;
- не учитываются инерционные составляющие тормозного момента, силы сопротивления, действующие при изменении скорости движения, воздуха, сопротивления качению и др.

Уравнение движения автомобиля при торможении в этом случае записывается в виде

$$F_{\tau} = F_j, \quad mg\varphi = jm, \quad (2)$$

где j – замедление ТС $j = \varphi g$; F_{τ}, F_j – суммарная тормозная сила и сила инерции; m – масса ТС; φ – коэффициент сцепления шины с дорогой в продольном направлении.

Путь, пройденный автомобилем за время срабатывания тормозной системы с гидравлическим приводом, определяется формулой

$$s_{cp} = v_0 \tau_{cp} - \frac{j_{уст} \tau_{cp}^2}{16}, \quad (3)$$

где s_{cp} – путь, пройденный автомобилем за время срабатывания тормозной системы; τ_{cp} – время срабатывания тормозной системы; $j_{уст}$ – установившееся замедление.

Путь, пройденный автомобилем с установившимся замедлением, равен

$$s_{уст} = \frac{v_H^2}{2j_{уст}}, \quad v_H = v_0 - \frac{j_{уст} \tau_{cp}}{4}. \quad (4)$$

Полный тормозной путь равен

$$s_T = s_{cp} + s_{уст}, \quad (5)$$

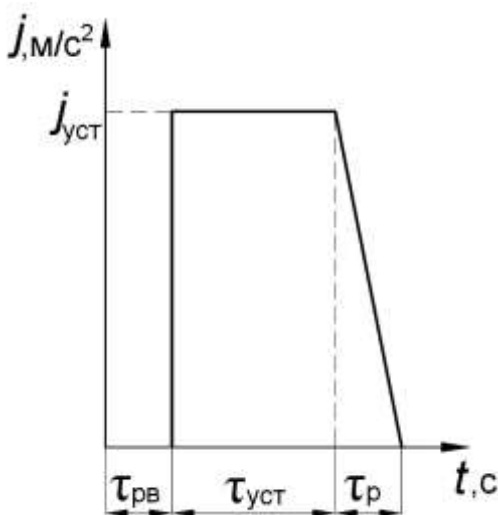


Рис. 3. Тормозная диаграмма ТС с магнотострикционным приводом

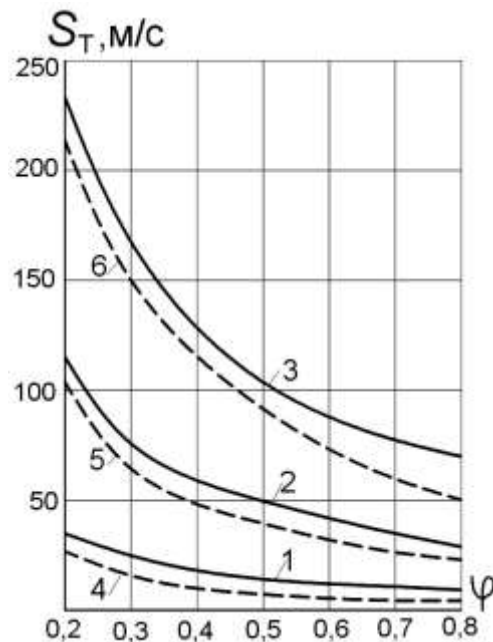


Рис. 4. Тормозной путь ТС с гидравлическим и магнотострикционными приводами:
1, 2, 3 – соответственно для $v_0 = 10, 20, 30$ м/с и $\tau_{cp} = 0,6$ с; 4, 5, 6 – соответственно для $v_0 = 10, 20, 30$ м/с и $\tau_{cp} = 0$

Для автомобиля с магнестрикционным приводом полный тормозной путь равен

$$s_T^M = \frac{v_0^2}{2j_{уст}}. \quad (6)$$

При расчетах тормозного пути автомобиля принято, что коэффициент сцепления шины с опорной поверхностью в продольном направлении φ изменяется в диапазоне $\varphi = 0,2 - 0,8$, а начальная скорость торможения изменяется в диапазоне $v_0 = (10 - 30)$ м/с.

В процессе эксплуатации могут нарушаться регулировки зазоров, попадать воздух в гидравлический привод, автомобиль может эксплуатироваться при давлении в пневматическом приводе, меньше установленного, могут возникать и другие отклонения от нормального технического состояния. Указанные отклонения воспринимаются водителем субъективно и в определенных ситуациях не учитываются как требующие немедленной остановки транспортного средства. В этом случае время запаздывания работы привода может увеличиваться до $\tau_c = 1,5 - 2,0$ с, а время нарастания давления – $\tau_H = 3 - 4$ с [3].

На рис. 4 показаны зависимости тормозного пути, рассчитанные в соответствии с выражениями (2)–(6) при различных начальных скоростях движения и коэффициентах сцепления для гидравлического привода со временем срабатывания $\tau_{cp} = 0,6$ с (кривые 1, 2, 3) и магнестрикционного привода (кривые 4, 5, 6). На рис. 5 показаны зависимости тормозного пути для тех же значений начальных скоростей движения и коэффициентах сцепления при времени срабатывания привода $\tau_{cp} = 2$ с (при отклонениях от оптимальных параметров).

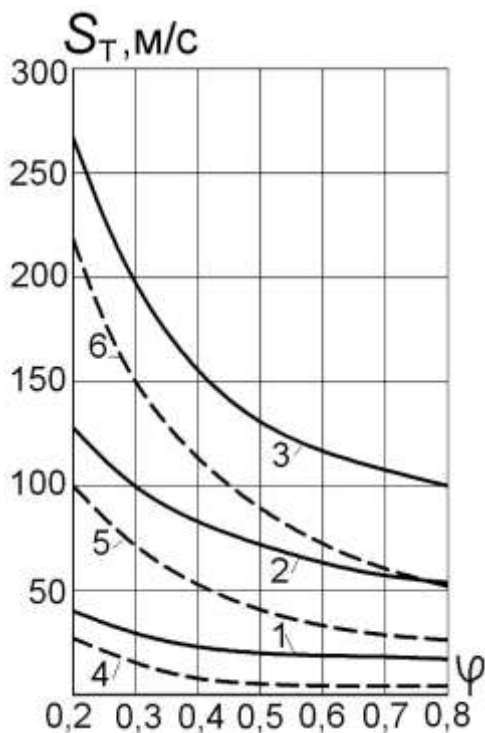


Рис. 5. Тормозной путь ТС с гидравлическим и магнестрикционным приводами: 1, 2, 3 – соответственно для $v_0 = 10, 20, 30$ м/с и $\tau_{cp} = 2,0$ с; 4, 5, 6 – соответственно для $v_0 = 10, 20, 30$ м/с и $\tau_{cp} = 0$

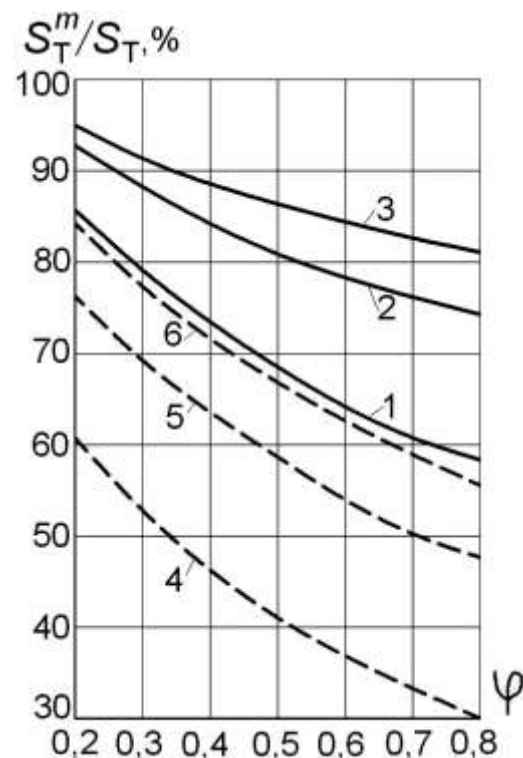


Рис. 6. Сравнительная характеристика тормозного пути ТС с гидравлическим и магнестрикционным приводами: 1, 2, 3 – соответственно для $v_0 = 10, 20, 30$ м/с и $\tau_{cp} = 0,6$ с; 4, 5, 6 – соответственно для $v_0 = 10, 20, 30$ м/с и $\tau_{cp} = 2,0$

Уменьшение тормозного пути транспортного средства с магнестрикционным приводом определяются относительной величиной s_T^M / s_T , характер изменения которой показан на рис. 6. Проведенные исследования показывают, что тормозной путь ТС, оснащенного магни-

тострикционным приводом тормозов при выбранных начальных параметрах может быть снижен на (8–44)%, а при увеличенном до 2 с времени срабатывании до (23–67)% – в зависимости от величин коэффициентов сцеплений шин колес с опорной поверхностью и начальной скорости торможения.

Существенное уменьшение величины тормозного пути, возможность осуществления электронных способов формирования управляющего и силовых сигналов отдельно для каждого тормоза, интеграции в глобальную систему автоматического управления движением ТС позволяют сделать вывод о целесообразности исследований и разработок в области магнито-стрикционных приводов тормозных систем транспортных и транспортно-технологических машин [5].

Библиографический список

1. ГОСТ Р 41.13-99 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения механических транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения».
2. ГОСТ Р 51709-2001 «Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки».
3. Кравец, В.Н. Теория автомобиля: учеб. пособие/ В.Н. Кравец. – Н.Новгород: НГТУ, 2007. – 368 с.
4. ГОСТ Р 41.13-Н-99 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей в отношении торможения».
5. Система торможения автомобиля. Патент на изобретение №2010108544 от 26.03.2010 г.

*Дата поступления
в редакцию 17.10.2011*

S.M. Ogorodnov, S.G. Sinichkin

THE EFFICIENCY OF BRAKING SISTEM WITH MAGNETOSTRICTIVE ACTUATOR

The paper describes the design philosophy of braking system actuators that are currently in use. The using of magnetostrictive actuators is proposed. The advantages of magnetostrictive actuators in comparison with other types of actuators are shown, including good compatibility with automatically micro integrated systems. By means of rated methods vehicles braking system efficiency was calculated for hydraulic and magnetostrictive types actuators.

Key words: vehicle, braking system, magnetostrictive actuators, braking efficiency.