

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE TYPE OF DIFFERENTIAL IN THE DRIVING AXLE ON THE TRACTION CHARACTERISTICS OF THE TRANSPORT VEHICLES OF HETEROGENEOUS ROAD SURFACE (PART ONE)

ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ВИДА НА ДИФЕРЕНЦИАЛА НА ЗАДВИЖВАЩИЯТ МОСТ ВЪРХУ ТЕГЛИТЕЛНИТЕ СВОЙСТВА НА ТРАНСПОРТНИТЕ СРЕДСТВА НА НЕЕДНОРОДНО ПЪТНО ПОКРИТИЕ (ЧАСТ I)

Assist. Prof. Dr. Eng. Nedelchev K., Assoc. Prof. Dr. Eng. Dimitrov S.,

Faculty of transport, Department of Combustion Engines, Automobile Engineering and Transport, Technical University of Sofia, Bulgaria

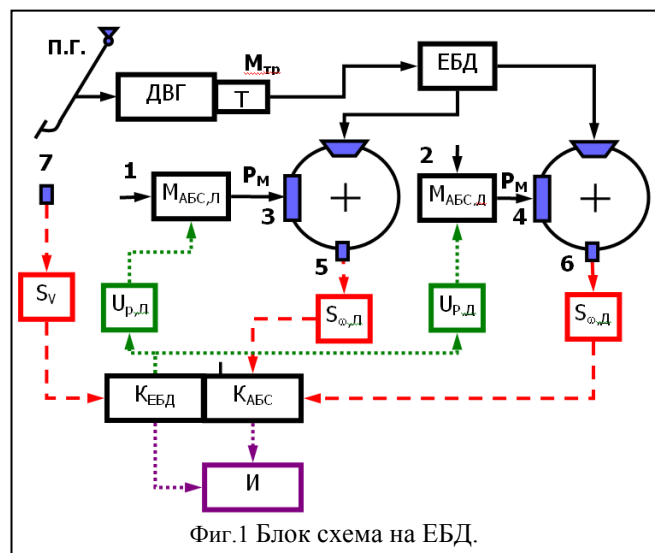
Abstract: The present work study the influence of the type of differential in the driving axle on the traction characteristics (acceleration, time to achieve the define speed, road for the define time, etc.) of the transport vehicles with rear driving axel. The influence of the difference between the tire-road friction coefficients between the left and right wheels on the vehicle traction characteristics with different differentials were investigated as well.

KEYWORDS: DIFFERENTIAL, LOCKING DIFFERENTIAL, ELECTRONIC DIFFERENTIAL LOCK, LIMITED SLIP DIFFERENTIAL, VISCOUS DIFFERENTIAL, TORSION TRACTION DIFFERENTIAL, TRACTION CHARACTERISTICS

1. Въведение

Диференциалите са част от трансмисията на автомобила. Те позволяват движение на левите и десните задвижващи кола на автомобила да се движат по криви с различен радиус без приплъзване. От друга страна диференциалите с малко вътрешно триене при определени пътни условия влошават проходимостта на транспортните средства (ТС).

С цел запазване на предимствата на диференциалните механизми на задвижващите мостове на ТС и едновременно с това премахване на недостатъците им се използват различни конструктивни решения. Управлението на момента (ъгловата скорост) предаван към левите и десните кола се реализира по механичен път или чрез електронна система. Последните позволяват много по-добро регулиране на момента предаван към колелата съобразено с пътните условия и желанието на водача.



Фиг. 1 Блок схема на ЕБД.

където П.Г. е педал на газта;

ДВГ – двигател с вътрешно горене;

Т – предавателна кутия;

$M_{тр}$ – въртящ момент след предавателната кутия;

ЕБД – електронно блокируем диференциал (управляем диференциален механизъм);

1 и $M_{АБС,Л}$ – модулатор на спирачното усилие на лявото задвижващо колело;

2 и $M_{АБС,Д}$ – модулатор на спирачното усилие на дясното задвижващо колело;

P_M – налягане подавано към спирачния механизъм;

$K_{ЕБД}$ – контролер на електронно блокируемия диференциал;

$K_{АБС}$ – контролер на антиблокиращата система;

I – индикация за работата на системата;

3 – спирачен механизъм на лявото задвижващо колело;

4 – спирачен механизъм на дясното задвижващо колело;

5 – сензор за оборотите на лявото задвижващо колело;

6 – сензор за оборотите на дясното задвижващо колело;

7 – сензор за линейната скорост на автомобила;

S_V – сигнал от сензора за линейна скорост на автомобила подаван към контролера;

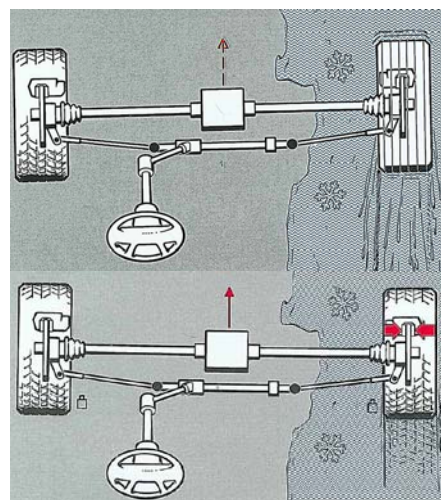
$S_{\omega,Л}$ – сигнал от сензора за оборотите на лявото задвижващо колело;

$S_{\omega,Д}$ – сигнал от сензора за оборотите на дясното задвижващо колело;

$U_{P,Л}$ – управляващ сигнал подаван към модулатора на налягането на лявото задвижващо колело;

$U_{P,Д}$ – управляващ сигнал подаван към модулатора на налягането на дясното задвижващо колело;

На фиг.1 с черен цвят са обозначени силовите потоци (магистрала) на налягането на спирачните механизми и момента в трансмисията на ТС. С червен цвят са посочени информационните магистрала, а със зелен - управляващите.

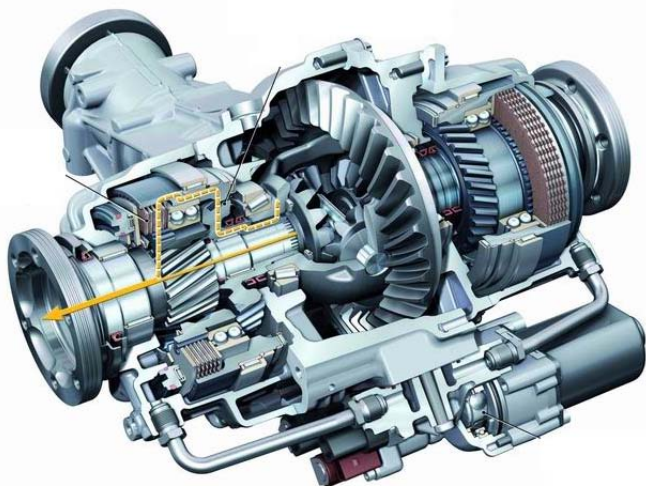


Фиг.2 Схема на потегляне на автомобил с ЕУД , управляван с помощта на спирачните механизми.

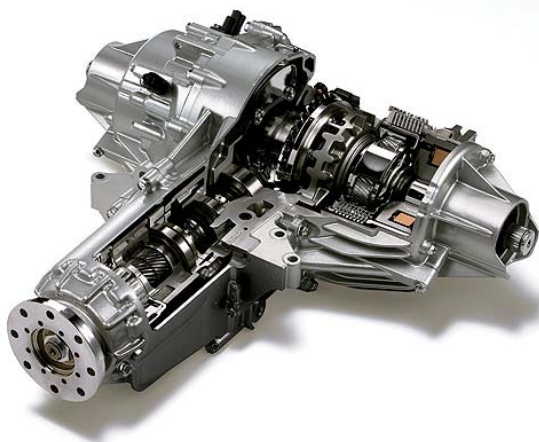
Едни от първите електронно управляеми диференциали (ЕУД) използвани при масовите серийно произведени леки автомобили са били обикновени диференциали, при които

момента към колелата се управлява с помощта на спирачните механизми (фиг.2) [5÷8]. Те се използват и в момента при по-ниския ценови клас автомобили. Характерно за тях е, че работят само при сравнително ниски скорости на движение на автомобилите (с един задвижващ мост до 40 км/ч [5]; с два задвижващи моста до 80 км/ч [8]).

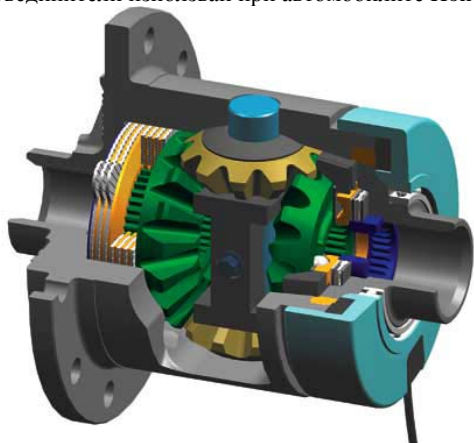
При по-високите класове леки автомобили се използват диференциали със сложна конструкция, при които момента предаван към колелата се управлява с помощта на многодискови съединители [9÷14]. Управлението се осъществява от електронен блок. Те служат както за подобряване на динамиката, така и за подобряване на стабилността на автомобилите при движение (фиг.3 и 4).



Фиг.3 Конструкция на междуколесен ЕУД с многодискови съединители използван при автомобилите Audi.



Фиг.4 Конструкция на междуколесен ЕУД с многодискови съединители използван при автомобилите Honda.



Фиг.5 Конструкция на междуколесен виско диференциал.

Диференциалите се делят на две основни групи със и без допълнителна система за управление [13]. Вторите са енерго независими и с висока надеждност, но не могат да осигурят оптимално разпределение на момента на задвижващите колела на автомобил при различните експлоатационни условия. Първата група се характеризира с по – ниска надеждност (определена от надеждността на електрониката), но осигуряват оптимално разпределение на момента към задвижващите колела на автомобил при различните експлоатационни условия.

Целта на настоящата работа е да се изследва влиянието на вида на диференциала върху теглителните свойства на леки автомобили задвижвани от задният мост.

2. Методика на изследването

2.1. Методика

С помощта на симулационна програма CarSim 8 и Matlab/Simulink се реализира числено изследване на потегляне на двусен лек автомобил нееднородно пътно покритие с различни видове диференциали (обикновен, блокиран, виско и диференциал с повишено вътрешно триене - ограничавачи приплъзването/пробуксуването – LSD). За изследването се използва 3D механо-математичен модел на ТС с еластична връзка между колелата и шасито моделиран в програмата CarSim 8. Управлението на задвижващият момент на левите и десните колела на ТС се осъществява с помощта на вградените в програмата стандартни модули за управление на системите. С помощта на програмата се реализира симулиране на потегляне на двусен леки автомобили при рязко отваряне на дроселовата клапа на двигателя при различни пътни условия и експлоатационни параметри на ТС. Програмата позволява да се реализират различни експериментални варианти, като например: различни размери на задвижващите колела; различни коефициенти на сцепление, различна разлика между коефициентите на сцепление на левите и десните колела, различно пътно съпротивление, задвижване на двата или на единият мост, задвижване на преден или заден мост, различна максимална стойност на положението на дроселовата клапа (до 100 %) и др.

Управлението на четирите вида диференциали се извършва по алгоритъм (логика), който на основа на текущите параметри на движението (линейна скорост на автомобила и ъглова скорост на задвижващите колела) изработва и изпраща управляващ сигнал към изпълнителния елемент (спирачен механизъм или многодисков съединител).

В работата се изследва потеглянето на ТС при праволинейно движение на нееднородно пътно покритие с различни коефициенти на сцепление между левите и десните колела на автомобила. Изследваният автомобил е със заден задвижващ мост.

Обект на изследването е двусен лек автомобил с базови параметри съответстващи на автомобил: E-Class, Sedan. Изследването се реализира при потегляне с рязко натискане на педала на газта до 54% с четирите различни видове диференциали. Стойността е подбрана така, че за целия диапазон на разглежданите симулации да има пробуксуване на колелата. Продължителността на всяка симулация е $t_{end} = 16$ s. Изследва се потегляне на автомобил при общо шестнадесет варианта на коефициенти на сцепление: четири варианта на $\Delta\varphi_x = \varphi_{x,max} - \varphi_{x,min} = 0,1; 0,2; 0,3$ и $0,4$ при четири стойности на $\varphi_{x,min} = 0,2; 0,3; 0,4$ и $0,5$.

Основни параметри на автомобила:

- $i_0 = 4,1$ – главно предаване на автомобила;
- $i_1 = 3,538$ – предавателно число на първа предавка;
- $i_2 = 2,060$ – предавателно число на втора предавка;
- $i_3 = 1,404$ – предавателно число на трета предавка;
- $i_4 = 1,000$ – предавателно число на четвърта предавка;
- $i_5 = 0,713$ – предавателно число на пета предавка;
- $i_6 = 0,582$ – предавателно число на шеста предавка;

225/60 R18 – предни и задни гуми на автомобила;
 $P_{e,max} = 125 \text{ kW}$ – максимална мощност на двигателя;
 $M = 1653 \text{ kg}$ – маса на автомобила;
 $L = 3,048 \text{ m}$ – дължина на автомобила;
 $L_2 = 1,646 \text{ m}$ – разстояние на масовия център до задният мост;
 $B_1 = 1,600 \text{ m}$ – предна колея;
 $B_2 = 1,600 \text{ m}$ – задна колея.

2.2. Показатели за оценка на теглителната ефективност и курсовата устойчивост на автомобила при ускоряване върху еднородно пътно покритие.

Показателите за оценка на теглителната ефективност на ТС са:

- коефициент на използване на сцеплението – ε ;

За оценка на теглителната ефективност се използват и следните допълнителни параметри:

- средно ускорение, при потегляне с максимална интензивност – $a_{t,cp}, \text{ m/s}^2$;
- максимално ускорение, при потегляне с максимална интензивност – $a_{t,max}, \text{ m/s}^2$;
- път изминат за определено време, при потегляне с максимална интензивност – $S_{t,a}, [\text{m}]$;
- скорост достигната за определено време, при потегляне с максимална интензивност – $V_{t,a}, [\text{km/h}]$;
- максимален ъгъл на завъртане на ТС около вертикалната му ос – $Yaw = \varphi_z, \text{ deg}$;
- максимално отклонение от направлението на движение – $Y, \text{ m}$.

3. Резултати

Резултатите от числените изследвания за различните комбинации на коефициентите на сцепление φ_x . ($\varphi_{x,n}/\varphi_{x,d}$) се записват в таблици. За попълване на таблиците е необходимо да се направят общо по 16 (64) реализации на изследване с различните диференциали при различните комбинации на коефициентите на надлъжно сцепление.

Таблиците с резултатите не са приложени в работната.

От графиката на фиг.7 се определят средното ускорение при потегляне (ускоряване) с максимална интензивност с различни видове диференциали.

Средното ускорение за целия процес на потегляне се определя по формулите:

$$a_{cp,v,j} = \frac{V_{t,a}}{t.3,6}, \text{ m/s}^2, \quad (3.1)$$

$$a_{cp,a,j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i, \text{ m/s}^2, \quad (3.2)$$

където $V_{t,a}$ е максималната скорост достигната за определено време, km/h;

t – общото време за ускоряване на автомобила, s;

j – индекс определящ “с” или „б”;

$a_{cp,v}$ – средното ускорение, определено въз основа на приемането, че изменението на скоростта на автомобила е линейна функция на времето, m/s^2 ;

n – общ брой на точките определящ кривата на ускорението;

i – пореден номер на текущата стойност на ускорението;

a_i – стойност на ускорението за i -тата точка от кривата на ускорението, m/s^2 ;

$a_{cp,a}$ – средното ускорение, определено по средно аритметична зависимост, m/s^2 .

Ефективността на използване на коефициента на сцеплението на гумите представена, чрез ускоряването се определя по формулата:

$$\varepsilon_{t,a,j} = \frac{a_{cp,a}}{\varphi_x \cdot g}, \quad (3.3)$$

$$\varepsilon_{t,a,p} = \frac{a_{cp,a,c} - a_{cp,a,b}}{a_{cp,a,b}} \cdot 100, \quad (3.4)$$

където $\varepsilon_{t,a,j}$ е коефициента на използване на сцеплението при ускоряване на ТС с ($\varepsilon_{t,a,c}$) и без ($\varepsilon_{t,a,b}$) ПБС;

$a_{cp,a,c}$ – средното ускорение на автомобила при потегляне с ЕБД, m/s^2 ;

$a_{cp,a,b}$ – средното ускорение на автомобила при потегляне без ЕБД, m/s^2 ;

$g=9,81$ – земно ускорение, m/s^2 .

От графиката на фиг. 8. се определя максималната скорост достигната за времето на ускоряване с максимална интензивност със и без ЕУД.

Ефективността на използване на сцеплението на гумите представена, чрез максималната скорост достиганата за определено време се определя по формулата:

$$V_{t,a,p} = \frac{V_{t,a,c} - V_{t,a,b}}{V_{t,a,b}} \cdot 100, \quad (3.5)$$

където $V_{t,a,c}$ е максималната скорост на автомобила достиганата за определено време при потегляне с ЕУД, km/h;

$V_{t,a,b}$ – максималната скорост на автомобила достиганата за определено време при потегляне без ЕУД, km/h.

От графиката на фиг. 9 се определя изминатият път за определено време, при ускоряване с максимална интензивност с и без ЕУД.

Ефективността на използване сцеплението на гумите представена, чрез изминатия път за определено време се определя по формулата:

$$S_{t,a,p} = \frac{S_{t,a,c} - S_{t,a,b}}{S_{t,a,b}} \cdot 100, \quad (3.6)$$

където $S_{t,a,c}$ е максималният път изминат от автомобила за определено време при потегляне с ЕУД, m;

$S_{t,a,b}$ – максималният път изминат от автомобила за определено време при потегляне без ЕУД, m.

От графиката на фиг.12 се определят ъгловите скорости на колата на автомобила и линейната му скорост при ускоряване на еднородно пътно покритие с и без ЕУД.

$$\omega_{cp,t,a,b} = \frac{1}{2.n} \sum_{i=1}^n (\omega_{\lambda,\delta,i} + \omega_{\delta,\delta,i}), \quad 1/s, \quad (3.7)$$

$$\omega_{cp,t,a,c} = \frac{1}{2.n} \sum_{i=1}^n (\omega_{\lambda,c,i} + \omega_{\delta,c,i}), \quad 1/s \quad (3.8)$$

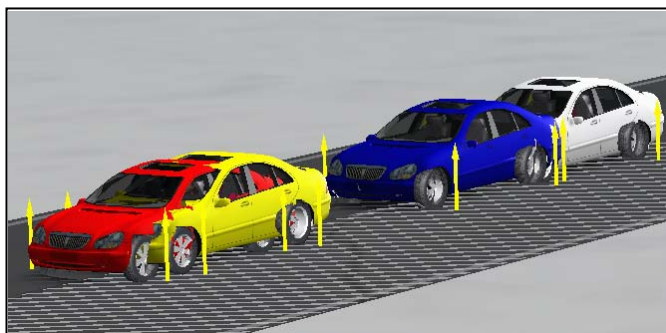
където $\omega_{cp,t,a,b}$ средната ъглова скорост на задвижващите колела при потегляне без ЕУД и продължителност t , 1/s;

$\omega_{cp,t,a,c}$ – средната ъглова скорост на задвижващите кола при потегляне с ЕУД и продължителност t , 1/s;
 i – пореден номер на текущата стойност на ъгловата скорост на задвижващите кола;
 n – общ брой на точките определящ кривата на ъгловата скорост на задвижващите кола;
 $\omega_{л,б,i}$ – средната ъглова скорост на левите задвижващи кола при потегляне без ЕУД и продължителност t , 1/s;
 $\omega_{д,б,i}$ – средната ъглова скорост на десните задвижващи кола при потегляне без ЕУД и продължителност t , 1/s;
 $\omega_{л,с,i}$ – средната ъглова скорост на левите задвижващи кола при потегляне с ЕУД и продължителност t , 1/s;
 $\omega_{д,с,i}$ – средната ъглова скорост на десните задвижващи кола при потегляне с ЕУД и продължителност t , 1/s.

Параметрите определени от фиг.7, 8, 9, 10 и 11 и изчислени по формули 3.1 ÷ 3.8 се записват в таблица.

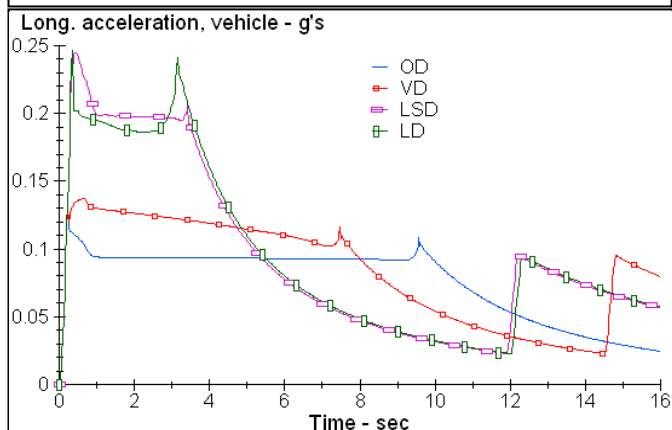
На фиг.6 е показана снимка от анимацията на процеса на ускоряване на лек автомобил с четири различни вида диференциали на задвижващият мост, а на фиг.7÷12 графики с резултати от численото изследване необходими за определянето на параметрите за оценка на теглителната ефективност.

От графиката на фиг. 9 и 10 се определят максималния ъгъл на завъртане на ТС около вертикалната му ос и максималното отклонение на ТС от първоначално зададеното направление на движение при ускоряване на не еднородно пътно покритие с и без ЕУД. Резултатите се записват в таблица.

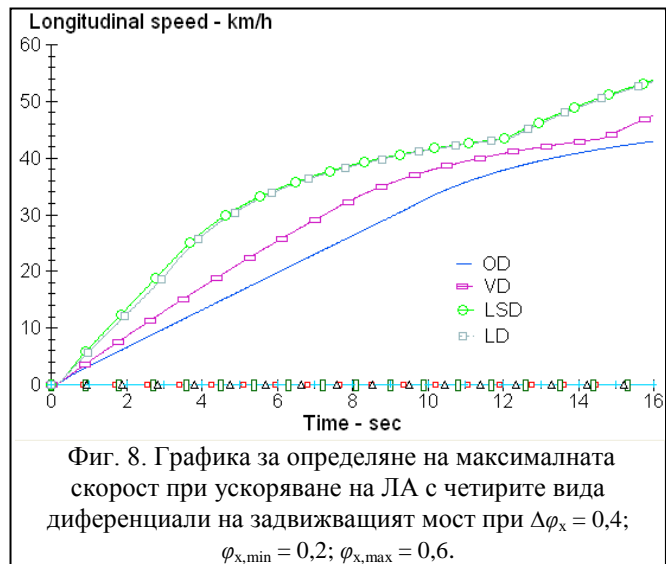


Фиг. 6. Симулация на ускоряване на ЛА с четирите вида диференциали на задвижващият мост при $\Delta\varphi_x = 0,4$; $\varphi_{x,min} = 0,2$; $\varphi_{x,max} = 0,6$.

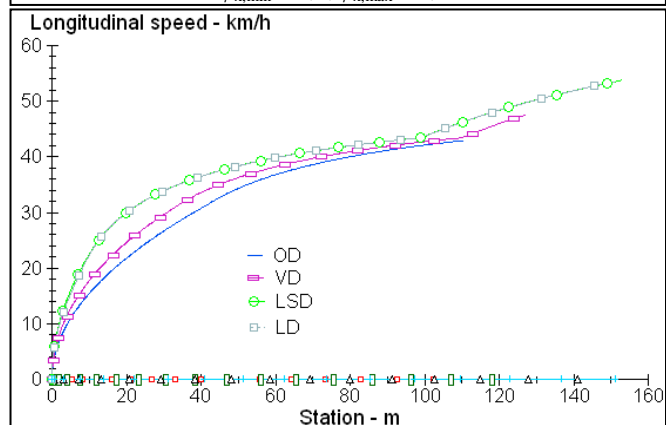
бяла кола – с обикновен диференциал; синя кола – с виско диференциал; жълта кола – блокиран диференциал; червена кола – с LSD диференциал.



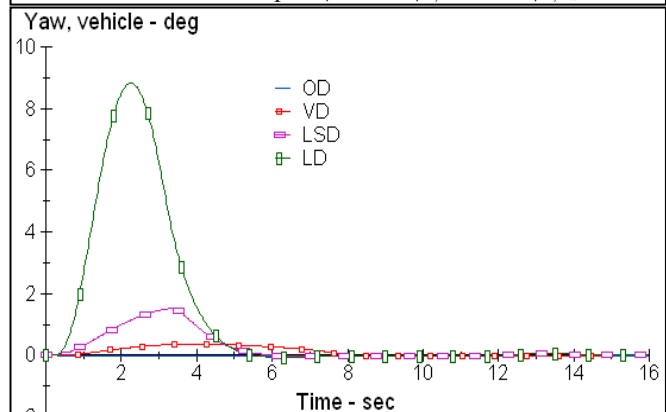
Фиг. 7. Графика за определяне на средното ускорение при ускоряване на ЛА с четирите вида диференциали на задвижващият мост при $\Delta\varphi_x = 0,4$; $\varphi_{x,min} = 0,2$; $\varphi_{x,max} = 0,6$.



Фиг. 8. Графика за определяне на максималната скорост при ускоряване на ЛА с четирите вида диференциали на задвижващият мост при $\Delta\varphi_x = 0,4$; $\varphi_{x,min} = 0,2$; $\varphi_{x,max} = 0,6$.



Фиг. 9. Графика за определяне на изминатият път при ускоряване на ЛА с четирите вида диференциали на задвижващият мост при $\Delta\varphi_x = 0,4$; $\varphi_{x,min} = 0,2$; $\varphi_{x,max} = 0,6$.

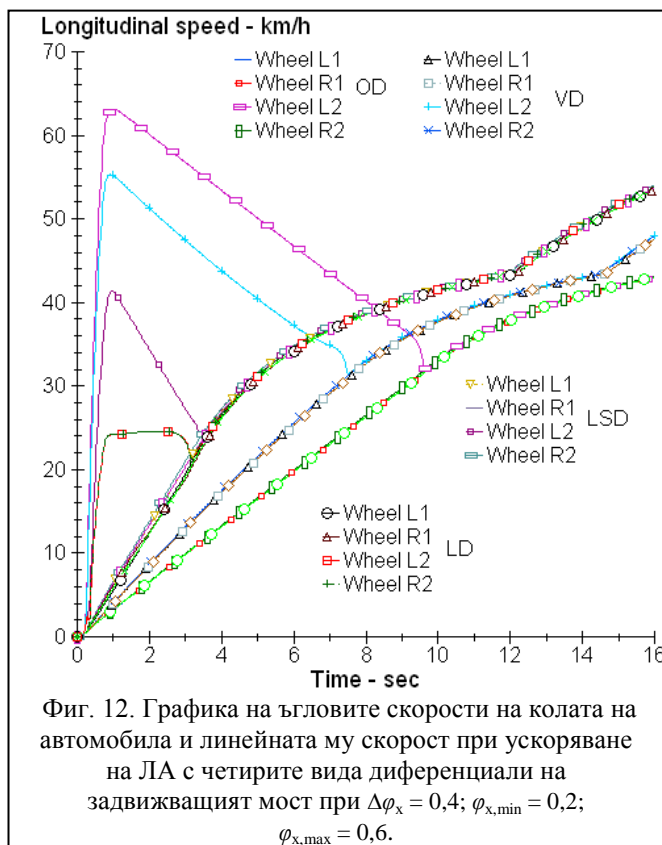
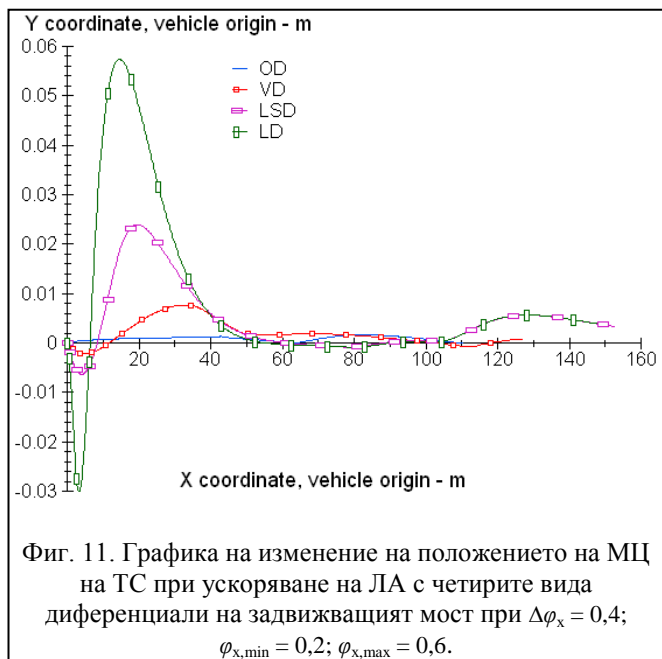


Фиг. 10. Графика на изменение на завъртането на ТС около вертикалната му ос при ускоряване на ЛА с четирите вида диференциали на задвижващият мост при $\Delta\varphi_x = 0,4$; $\varphi_{x,min} = 0,2$; $\varphi_{x,max} = 0,6$.

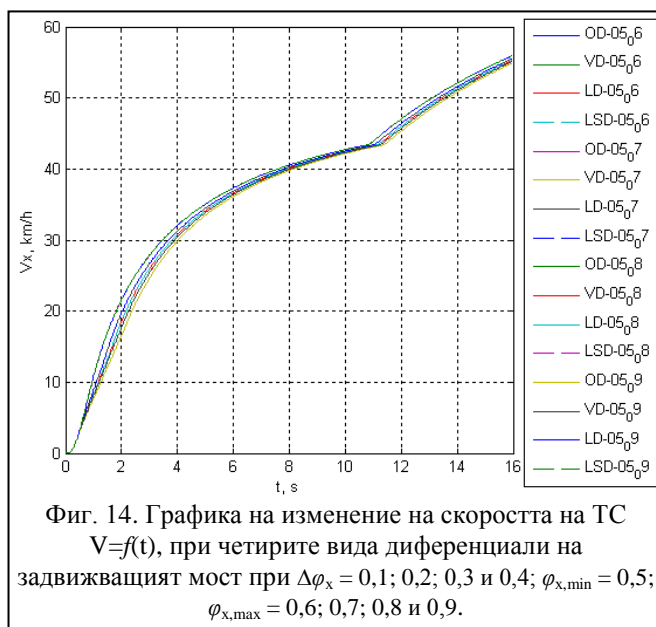
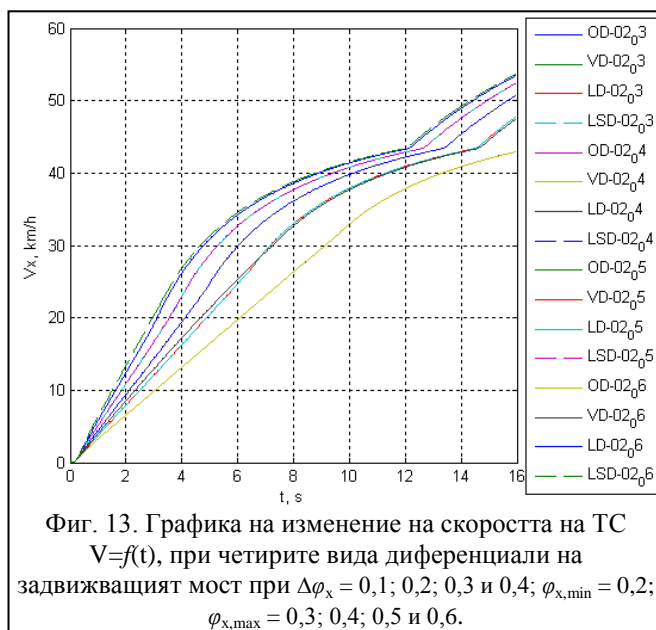
От резултатите се вижда, че най – добри показатели по отношение на теглителните свойства се получават при блокиран и LSD диференциали. Тези показатели са идентични, с изключение на комбинацията от сцепления $\varphi_{x,min} = 0,2$; $\varphi_{x,max} = 0,6$, показани на фиг.7÷12. От тях се вижда, че и в този случай разликата е незначителна (под 5%).

Най – слаби показатели показва обикновеният диференциал, малко по-добри показатели има виско диференциала.

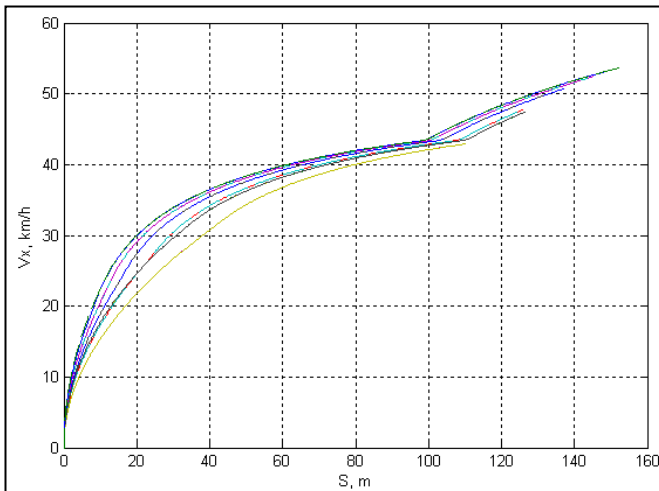
На фиг.7 надлъжното ускорение се получава в m/s^2 като се умножи по $g=9,81 m/s^2$.



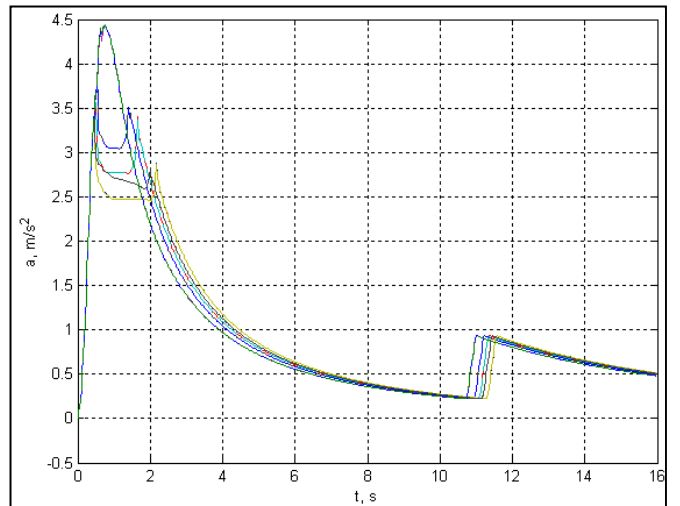
Легенди на графиките за различните варианти на $\Delta\varphi_x$ са показани на фиг.13 и 14. Те са аналогични и за фиг. 15, 17, 19 (легенда на фиг.13), 16, 18 и 20 (легенда на фиг.14).



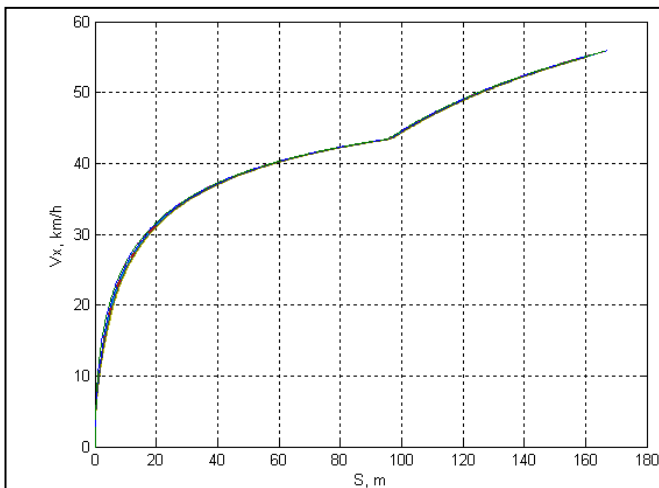
- ЛА – лек автомобил;
- OD – диференциал с малко вътрешно триене (Open Differential);
- VD – виско диференциал (Viscous Differential);
- LSD – диференциал с повишено вътрешно триене - ограничаващи приплъзването/пробуксуването (Limited Slip Differential);
- LD – блокиран диференциал (Locking Differential);
- УД – управляем диференциал (електронно или механично).



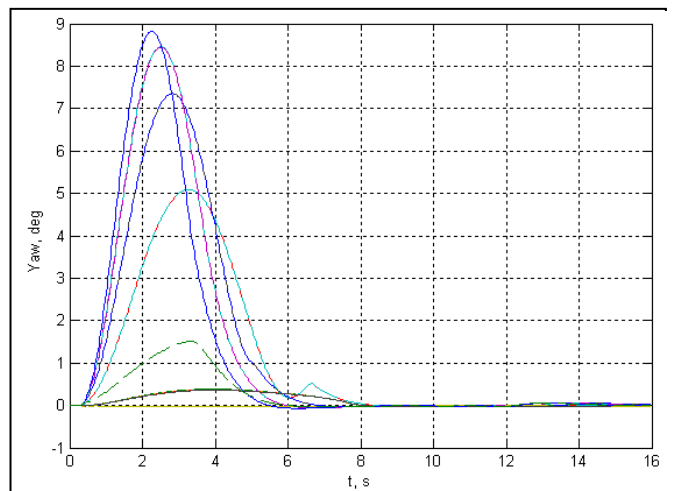
Фиг. 15 Графика на изменение на скоростта на ТС $V=f(S)$, при четирите вида диференциали на задвижващият мост при $\Delta\varphi_x = 0,1; 0,2; 0,3$ и $0,4$; $\varphi_{x,\min} = 0,2$; $\varphi_{x,\max} = 0,3; 0,4; 0,5$ и $0,6$.



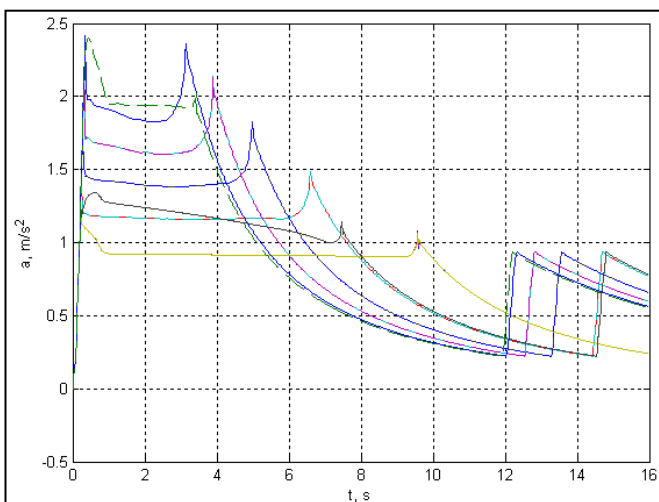
Фиг. 18. Графика на изменение на надлъжното ускорение на ТС $a_x=f(t)$, при четирите вида диференциали на задвижващият мост при $\Delta\varphi_x = 0,1; 0,2; 0,3$ и $0,4$; $\varphi_{x,\min} = 0,5$; $\varphi_{x,\max} = 0,6; 0,7; 0,8$ и $0,9$.



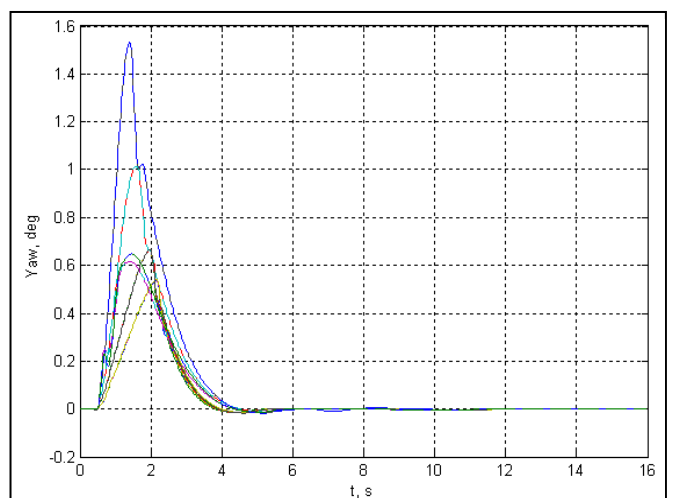
Фиг. 16. Графика на изменение на скоростта на ТС $V=f(S)$, при четирите вида диференциали на задвижващият мост при $\Delta\varphi_x = 0,1; 0,2; 0,3$ и $0,4$; $\varphi_{x,\min} = 0,5$; $\varphi_{x,\max} = 0,6; 0,7; 0,8$ и $0,9$.



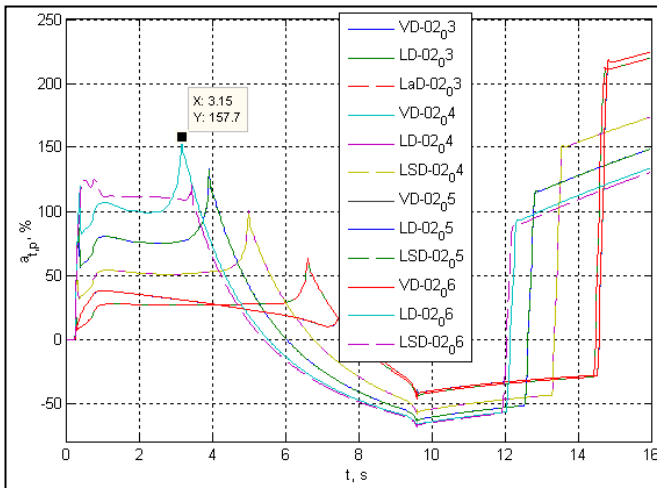
Фиг. 19 Графика на изменение на ъгъла на завъртане около вертикалната ос на ТС $Yaw=f(t)$ при четирите вида диференциали на задвижващият мост при $\Delta\varphi_x = 0,1; 0,2; 0,3$ и $0,4$; $\varphi_{x,\min} = 0,2$; $\varphi_{x,\max} = 0,3; 0,4; 0,5$ и $0,6$.



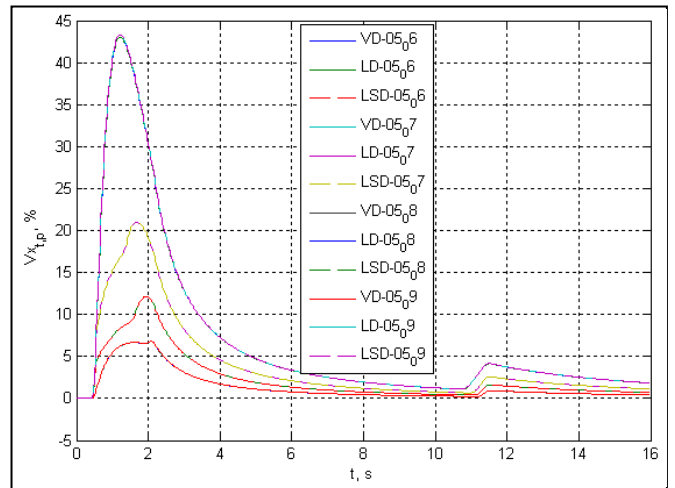
Фиг. 17 Графика на изменение на надлъжното ускорение на ТС $a_x=f(t)$, при четирите вида диференциали на задвижващият мост при $\Delta\varphi_x = 0,1; 0,2; 0,3$ и $0,4$; $\varphi_{x,\min} = 0,2$; $\varphi_{x,\max} = 0,3; 0,4; 0,5$ и $0,6$.



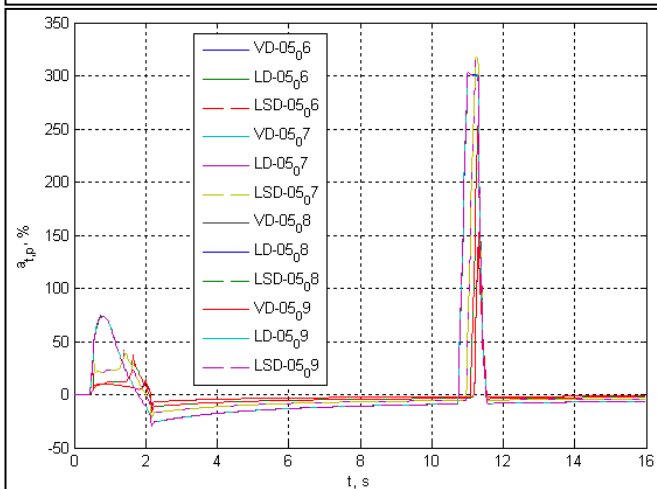
Фиг. 20. Графика на изменение на ъгъла на завъртане около вертикалната ос на ТС $Yaw=f(t)$ при четирите вида диференциали на задвижващият мост при $\Delta\varphi_x = 0,1; 0,2; 0,3$ и $0,4$; $\varphi_{x,\min} = 0,5$; $\varphi_{x,\max} = 0,6; 0,7; 0,8$ и $0,9$.



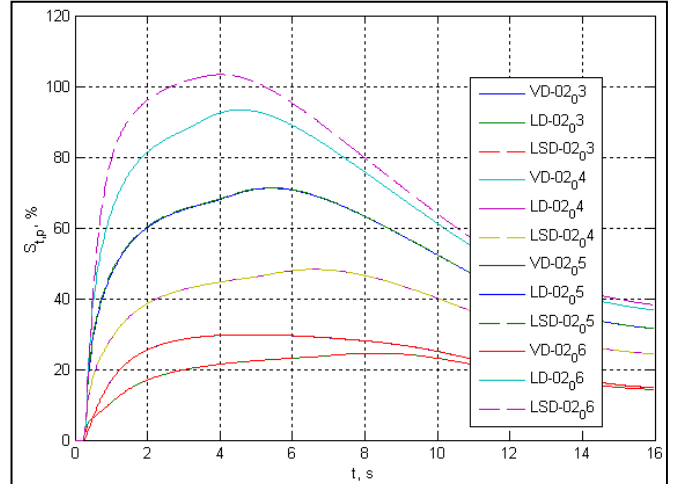
Фиг. 21. Графика на относителното изменение на надлъжното ускорение на ТС $a_{x,t,p}=f(t)$, при трите вида диференциали на задвижващият мост спрямо OD при $\Delta\varphi_x = 0,1; 0,2; 0,3$ и $0,4; \varphi_{x,\min} = 0,2; \varphi_{x,\max} = 0,3; 0,4; 0,5$ и $0,6$.



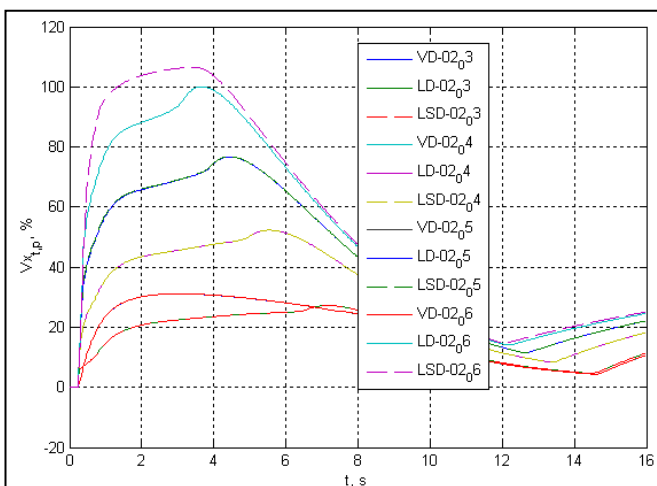
Фиг. 24. Графика на относителното изменение на скоростта на ТС $V=f(t)$, при трите вида диференциали на задвижващият мост спрямо OD при $\Delta\varphi_x = 0,1; 0,2; 0,3$ и $0,4; \varphi_{x,\min} = 0,5; \varphi_{x,\max} = 0,6; 0,7; 0,8$ и $0,9$.



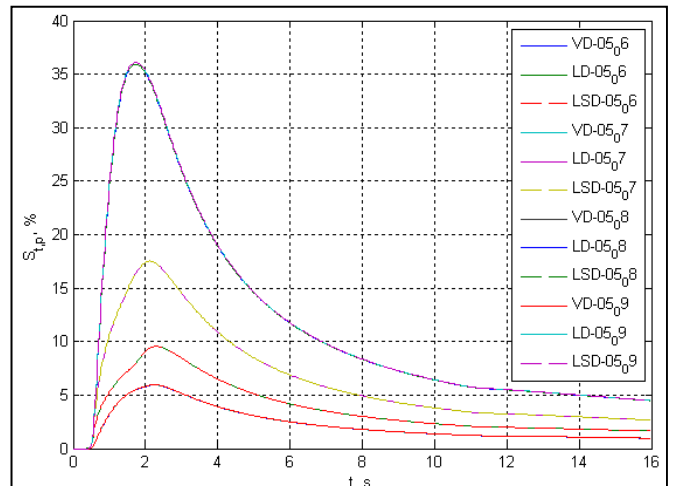
Фиг. 22. Графика на относителното изменение на надлъжното ускорение на ТС $a_{x,t,p}=f(t)$, при трите вида диференциали на задвижващият мост спрямо OD при $\Delta\varphi_x = 0,1; 0,2; 0,3$ и $0,4; \varphi_{x,\min} = 0,5; \varphi_{x,\max} = 0,6; 0,7; 0,8$ и $0,9$.



Фиг. 25. Графика на относителното изменение на изминатият от ТС път $S=f(t)$, при трите вида диференциали на задвижващият мост спрямо OD при $\Delta\varphi_x = 0,1; 0,2; 0,3$ и $0,4; \varphi_{x,\min} = 0,2; \varphi_{x,\max} = 0,3; 0,4; 0,5$ и $0,6$.



Фиг. 23. Графика на относителното изменение на скоростта на ТС $V=f(t)$, при трите вида диференциали на задвижващият мост спрямо OD при $\Delta\varphi_x = 0,1; 0,2; 0,3$ и $0,4; \varphi_{x,\min} = 0,2; \varphi_{x,\max} = 0,3; 0,4; 0,5$ и $0,6$.



Фиг. 26. Графика на относителното изменение на изминатият от ТС път $S=f(t)$, при трите вида диференциали на задвижващият мост спрямо OD при $\Delta\varphi_x = 0,1; 0,2; 0,3$ и $0,4; \varphi_{x,\min} = 0,5; \varphi_{x,\max} = 0,6; 0,7; 0,8$ и $0,9$.

Анализ на резултатите

От изследването се вижда, че най – голяма ефективност се получава при комбинациите с ниски стойности на коефициенти на сцепление. Относителното изменение на параметрите при ниски коефициенти на сцепление е най – голямо освен по – максимална и по интегрална стойност на параметрите характеризиращи теглителните свойства на ТС.

При виско диференциалите относителното изменение на изследваните параметри не зависи от стойността на $\Delta\varphi_x$.

Нарастването на $\Delta\varphi_x$ при блокируемите диференциали и диференциалите ограничаващи приплъзването/пробуксуването, води до нарастване на ефективността от използването им. Резултатите са идентични и при двата вида диференциали при различните варианти на изследваните комбинации на коефициенти на сцепление. Изключение е комбинацията $\varphi_{x,\min} = 0,2/\varphi_{x,\max} = 0,6$.

При изследване с комбинациите от коефициенти на сцепление $\varphi_{x,\min} = 0,5/\varphi_{x,\max} = 0,8$ и $\varphi_{x,\min} = 0,5/\varphi_{x,\max} = 0,9$ се наблюдава съвпадение на получените резултати. По тази причина и графиките им на относителното изменение на изследваните параметри съвпадат.

4. Изводи

Най – голяма е ефективността на VD, LSD и LD при ниските коефициенти на надлъжно сцепление и се повишава при повишаване на разликата ($\Delta\varphi_x = \varphi_{x,d,\max} - \varphi_{x,l,\min}$) между коефициентите на сцепление на левите ($\varphi_{x,l,\min}$) и десните колела ($\varphi_{x,d,\max}$).

Най – добри резултати по отношение на теглителните свойства на ТС се получават при диференциали ограничаващи приплъзването/пробуксуването (LSD).

Благодарности: Изследванията са извършени/подпомогнати по Договор № BG051PO001/07/3.3-02/8 „Механизми за осигуряване качествено израстване на научните кадри”, финансиран по схема "Подкрепа за развитие на докторанти,

постдокторанти, специалисти и млади учени" на ОП "Развитие на човешките ресурси" на "Европейския социален фонд"

5. Литература

- [1] Documentation for CarSim Screens, Powertrain System.pdf, 2009
- [2] Dipl.-Ing. Christian Meißner, Prof. Dr.-Ing. Peter Tenberge, New concepts of active yaw control for electric and hybrid vehicles, International Conference on Mechanical Engineering and Mechanics, October 21-23, 2009, Beijing, P. R. China
- [3] Ir. Edo Drenth, Haldex Xafety Wheel Drive, CTI – Automotive Transmission North America, 2007
- [4] Rajesh Rajamani, Vehicle Dynamics and Control, Springer, 2006
- [5] Self-Study Programme 117 Antiblockiersystem (Teves) mit elektronischer Differentialsperre (EDS), VAG Service, VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg, 1989
- [6] Self-Study Programme 148 ABS mit EDS (Bosch) im Audi, Service, VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg, 1992
- [7] Self-Study Programme 162 ABS/EDS/ASR (Bosch) 5 im Audi, Service, VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg, 1994
- [8] Self-Study Programme 171 Antiblockiersystem (Teves) 20Gi elektronischer Differentialsperre (EDS), Service, VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg, 1995
- [9] Self-Study Programme 206 Four-Wheel Drive with Haldex Coupling, Service Training, VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg, 1998
- [10] Self-study Programme 333 4MOTION with Haldex Coupling Model Year 2004, Service Training, VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg, 2005
- [11] http://www.selmec.org.uk/Downloads/article_0005_a_clutch_of_differentials.pdf
- [12] [http://en.wikipedia.org/wiki/Differential_\(mechanics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Differential_(mechanics))
- [13] http://en.wikipedia.org/wiki/Limited_slip_differential
- [14] http://en.wikipedia.org/wiki/Viscous_coupling_unit