

КОМПЮТЪРНА СИМУЛАЦИЯ НА АВАРИЙНО СПИРАНЕ НА АВТОМОБИЛ С АНТИБЛОКИРАЩА СИСТЕМА (ABS)

Станимир КАРАПЕТКОВ
skarapetkov@yahoo.com

Силвия ДИНЕВА
sdb@ecad.tu-sofia.bg

Иван ПЕТРОВ
aladina@abv.bg

катедра "Механика, машиностроене и топлотехника", ТУ-София, ИПФ-Сливен, 8800, България
катедра "Електронна техника и технологии", ТУ-София, София, 1000, България
катедра "Механика, машиностроене и топлотехника", ТУ-София, ИПФ-Сливен, 8800, България

В настоящата работа се изследва аварийното спиране на автомобила с антиблокираща система (ABS). Съставени са диференциалните уравнения на движение на автомобила, които са решени с програмния продукт MATLAB. Извършена е компютърна симулация на аварийното спиране на автомобила с ABS. Резултатите от числените експерименти са показани графично.

Ключови думи: антиблокираща система (ABS), автомобил, диференциални уравнения на движение, компютърна симулация.

Въведение

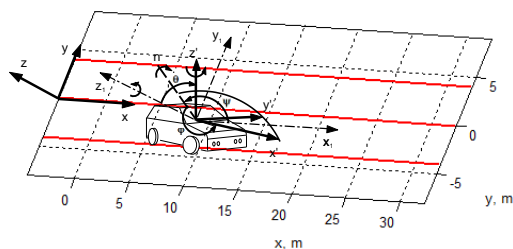
Антиблокиращата система (ABS) е предназначена да предотврати блокирането на колелата при рязко натискане на педала на спирачката или при спиране на хлъзгав път. ABS обезпечава максимално възможното сцепление с пътя при рязко спиране, при което спирачният път става значително по-къс, като същевременно се запазва управляемостта на автомобила.

Целта на настоящата работа е да се създаде механоматематичен модел за изследване движението на автомобил с и без въздействие на ABS.

Динамичен модел на движението на автомобил с ABS

Механичната система на автомобила се разглежда с 11 степени на свобода [1].

На фиг. 1 е показана схема на автомобил по време на движение в равнината.



Фиг.1. Схема на автомобил при движението му по равнина

Теоремата за движение на масовия център на автомобила в проекции на неподвижните координатни оси се записва във вида

$$\begin{aligned}
 m \cdot \ddot{x}_c &= \sum_{i=1}^4 [F_{ix}] + m \cdot g \cdot \sin \alpha - \\
 &- w_x \cdot \sqrt{\dot{x}_c^2 + \dot{y}_c^2} \cdot \dot{x}_c; \\
 m \cdot \ddot{y}_c &= \sum_{i=1}^4 [F_{iy}] + m \cdot g \cdot \sin \beta - \\
 &- w_y \cdot \sqrt{\dot{x}_c^2 + \dot{y}_c^2} \cdot \dot{y}_c; \\
 m \cdot \ddot{z}_c &= \sum_{i=1}^4 N_i - \frac{m \cdot g}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \beta}} - \\
 &- \sum_{i=1}^4 [\beta_i \cdot \dot{z}_{ok,i}]
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

където $\vec{F}_i / i = 1 \div 4 /$ са сили на триене в колелата; α, β - ъгли на надлъжния и напречния наклон на пътната настилка; \vec{N}_i - нормални реакции в колелата; w_x, w_y - фактор на обтекаемост; β_i - коефициенти на съпротивление от окачването /амортизаторите/; $z_{ok,i}$ - апликати на точките на окачване на пружините спрямо неподвижната координатна система.

Кинетичният момент на механичната система на автомобила спрямо масовия ѝ

център при релативното ѝ движение около него в проекции на неизменно свързаните с подресорната маса координатни оси в матричен вид при приети допускания има вида

$$(2) \quad [K_c^r] = [J_{c_1}] \cdot [\omega],$$

където $[J_{c_1}]$ е матрица от масовите инерционни моменти на каросерията спрямо неизменно свързаните с нея координатни оси, а $[\omega]$ - матрица-стълб от проекциите на ъгловата скорост върху същите оси.

В диференциалното уравнение от вида

$$(3) \quad [J_{c_1}] \cdot [\dot{\omega}] = [M_{c_0}]$$

$[M_{c_0}]$ - матрица-стълб със съответните главни моменти на силите на триене в колелата, нормалните реакции и на съпротивителните сили спрямо неизменно свързаните с автомобила координатни оси.

Относителното движение спрямо каросерията на механичната система на колелата, диференциала /диференциалите/ и двигателя се характеризира със система от четири диференциални уравнения, изведени по метода на Лагранж, която има вида

$$(4) \quad [I_\gamma] \cdot [\ddot{\gamma}] = [M_\gamma];$$

$$M_{\gamma_i} = F_{ir} \cdot r_i +$$

$$+ \text{sign}(\dot{\gamma}_i) \cdot [M_{di} - f_i \cdot N_i - M_{si}]$$

където \vec{F}_{ir} е тангенциалната компонента на силата на триене в колелото, \vec{r}_i - радиус на колелото, $[M_{di}]$ - двигателен момент приведен към колелата, f_i - коефициент на триене при търкаляне, а $[M_{si}]$ - спирачен момент приведен към колелата.

Завъртането на предните колела около шенкелните оси се описва със следното диференциално уравнение на движение

$$(5) \quad I_s \cdot \ddot{\theta}_k = \sum_{j=1}^2 M_{kj},$$

където $\theta_k(t)$ - ъгъл на завъртане на съответното управляемо колело около ос z'' , M_{kj} - стабилизиращият момент от компонентите на реакциите на пътната настилка.

Тангенциалната компонента на силата на триене в колелото, чиято положителна посока се приема назад /в по-честия случай на движение при спиране или след загуба на устойчивост/

$$(6) \quad F_{ir} = \mu \cdot N_i \frac{V_{Pik}}{V_{Pi}} \cos(\varphi_z + \theta_k) +$$

$$+ \mu \cdot N_i \frac{V_{Piy}}{V_{Pi}} \sin(\varphi_z + \theta_k),$$

където $\mu(V_P)$ е коефициентът на триене, зависещ от скоростта на плъзгане на контактното петно, който се въвежда графично или аналитично.

Принцип на действие на антиблокираща спирачна система

Основното предназначение на ABS е да контролира скоростта на четирите колела и при максимално натиснат спирачния педал, да установи дали някое от колелата намалява по-бързо своята скорост от останалите [2]. Това би означавало, че колелото е възможно да "блокира". При рязко спиране и особено, когато пътят е хлъзгав, колелата на автомобила могат да блокират. В такива ситуации автомобилът се плъзга като шейна на пътя, при което спирачният път се удължава значително и се губи контрол върху управлението.

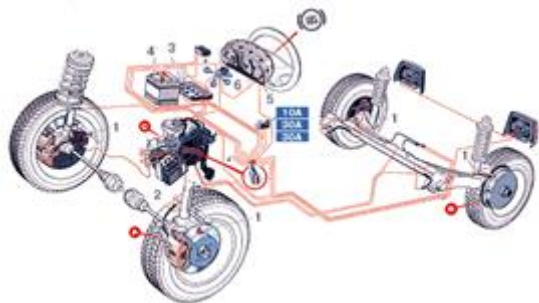
При нормално спиране ABS не се включва, тя се задейства само когато колелата са на път да блокират. При автомобилите с ABS в случай на аварийно спиране, спирачният педал се натиска винаги максимално. ABS само оптимизира процеса на спиране, осигурявайки максимална ефективност на спирачките. Но системата не може да намали спирачния път под един физически праг, зависещ в голяма степен от скоростта на масовия център на автомобила и коефициента на сцепление между гумите и пътя.

ABS се състои от три основни елемента (фиг.2)

- сензори за скоростта на въртене на колелата;
- електронен блок за управление (ABS контролер);
- изпълнителен механизъм - хидроагрегат.

Системата (фиг.3) се управлява от микрокомпютър (самостоятелно обособен електронен блок), който получава сигнали за завъртането на колелата от монтираните в тях датчици. Микрокомпютъра обработва получената информация и чрез електромагнитни клапани управлява налягането на спирачната течност към колелата. Когато едно колело (или повече) при спиране е на път да блокира, системата намалява налягането към спирачния му механизъм, отпуска го и мигновено отново

увеличава налягането, като по този начин го поддържа на границата на блокиране.



Фиг. 2. Схема на антиблокажна система на автомобил

1 - датчик на ъгловата скорост; 2 - електронен блок за управление; 3 - блок предпазители; 4 - акумулатор; 5 – панел с уреди; 6 - индикатор ABS.



Фиг. 3. Блокова схема на основните процеси на работа на антиблокажна система на автомобил

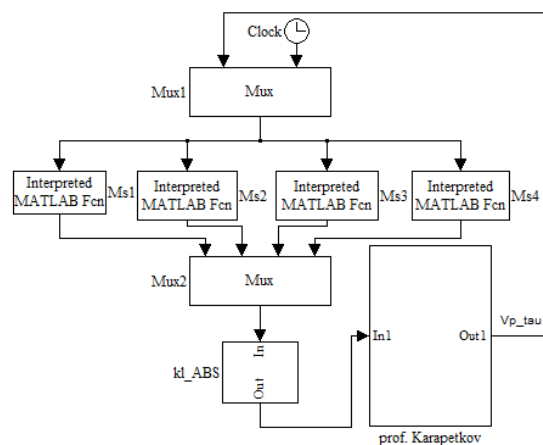
Всяко едно от колелата е снабдено със зъбно колело и индуктивен сензор, съдържащ постоянен магнит и бобина. При завъртането на зъбното колело в бобината на сензора се индуцира променливо напрежение, честотата на която е пропорционална на ъгловата скорост на завъртане и броя на зъбите на колелото.

В пълната си конфигурация ABS съдържа четири сензора и четири двойки клапани, което позволява индивидуално да се въздейства на всяко колело за постигане на максимален ефект на спирането (т.нар. четириканални системи).

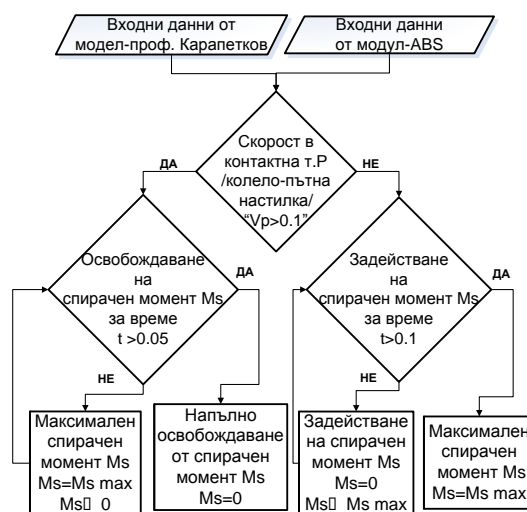
Честотата на работата на съвременните системи е 5Hz – 15Hz.

Числени експерименти

Диференциалните уравнения на движение на автомобила (1) са решени с помощта на програмен продукт MATLAB при известни начални стойности. Чрез нововъведения модул за управление на ABS към модела на проф. Карапетков, са реализирани експерименти с включен и изключен блок за управление на ABS.



Фиг. 4. Схема на модел Карапетков – и модул ABS в Matlab



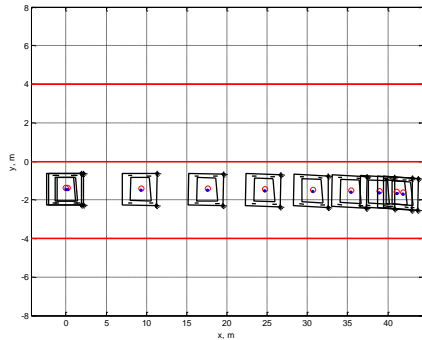
Фиг. 5. Блокова схема на процесите в модул ABS

На фиг.4 е даден изглед на целият модел и допълнително изграденият модул ABS, а на фиг.5 е показана структурата на управление на модула ABS. Времето за задействане на спирачната система и освобождаването на спирачния момент са съответно 0,1s и 0.05s.

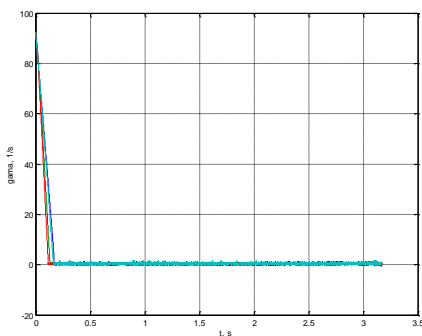
Експериментална част

1. Изходни данни за числен експеримент при изключен и включен модул ABS - Автомобил марка Ауди с маса 1388 кг;

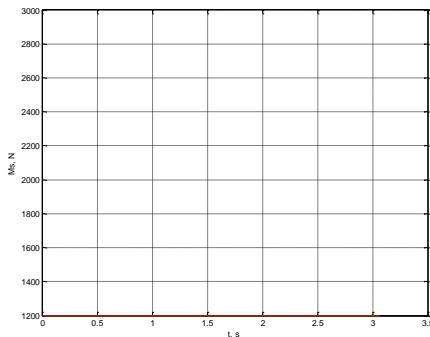
Сух асфалт; Максимален спирачен момент $M_s = M_{smax}$; Скорост – 90км/ч; Движение на право (0 „[deg]”).



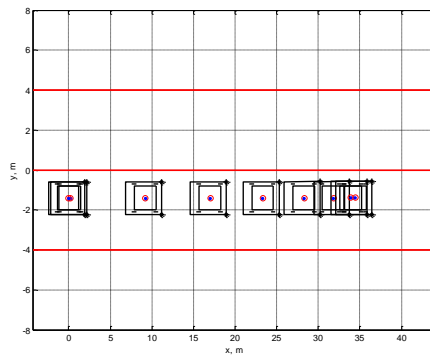
Фиг. 6. Дискретни положения на спирачен път на автомобила без ABS



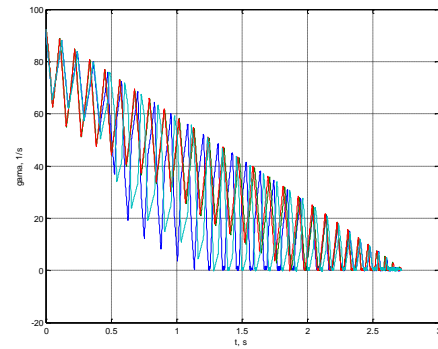
Фиг. 7. Ъглова скорост на колелата без ABS



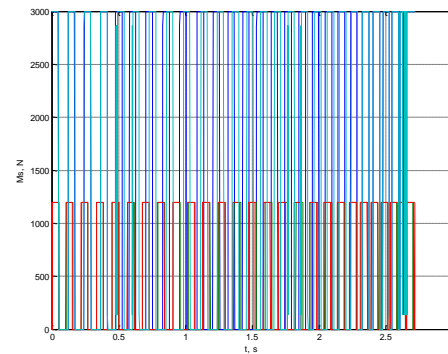
Фиг. 8. Спирачен момент Ms без ABS



Фиг. 9. Дискретни положения на спирачен път на автомобила с ABS



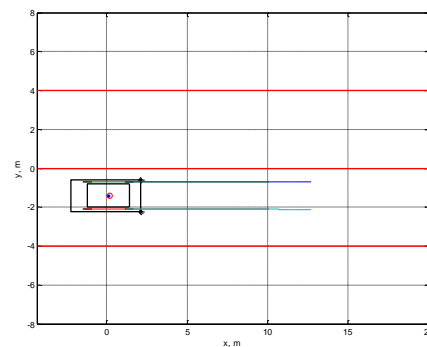
Фиг. 10. Ъглова скорост на колелата с ABS



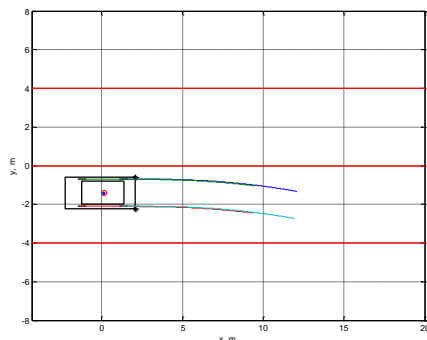
Фиг. 11. Спирачен момент Ms с ABS – при 90км/ч

2. Изходни данни за числен експеримент при изключен и включен модул ABS- Автомобил марка Ауди с маса 1388 кг; Мокър асфалт; Максимален спирачен момент $M_s = M_{smax}$; Скорост – 50км/ч; Завой на дясно “3.0 [deg]”.

Целта на този пример е да се покаже предимството на ABS при екстремни ситуации (спиране в завой), водача запазва контрол над управлението на автомобила. Автомобилите, които не са снабдени с ABS при спиране в завой и намалено сцепление на водещите колела - е възможно водачът да загуби управление и движението да продължи на право.

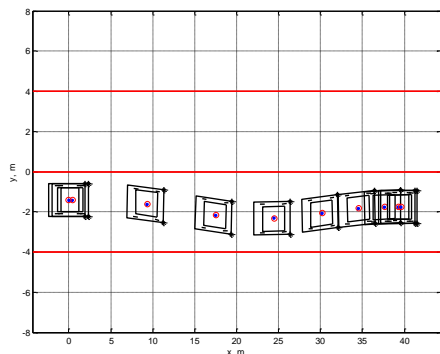


Фиг.12. Следи от спирачен път на втомобила без ABS



Фиг.13. Следи от спиращен път на втомобила с ABS

3. Изходни данни за числен експеримент при включен модул ABS - автомобил марка Ауди с маса 1388 кг; сух асфалт; максимален спиращен момент $M_s = M_{smax}$; завой на дясно „2.6 [deg]”, последван от завой на ляво „3.6 [deg]“ и завой на дясно „1.8 [deg]”.



Фиг. 14. Дискретни положения на спиращен път на автомобила с ABS

При внезапна и интензивна употреба, ABS предотвратява блокирането на спиращата система и допринася за запазване стабилността на управление. Подобна траектория на движение се

наблюдава често, в случаи при които шофьорът се опитва да избегне евентуален удар или препятствие на пътя (камък, дупка).

Анализ от резултатите

От направените изследвания се наблюдава че при аварийно спиране на автомобил без ABS ъгловата скорост е сходна за четирите колела, т.е. той е постоянна величина, с ABS се вижда предимството по отношение на запазване на сцеплението и намаляване на спиращият път. Когато има активна ABS, този път се скъсява с няколко метра в зависимост от скоростта, което е от толкова голямо значение, че дори в много случаи може да се окаже животоспасяващо разстояние. Например, при скорост от 50км/ч на мокър асфалт разликата в спиращия път с ABS е 2,1м по-късо разстояние, докато при скорост от 90км/ч тя се увеличава на 6м за сух асфалт и 7,3м за мокър асфалт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карапетков С., Дисертационен труд за придобиване на научна степен доктор на техническите науки, „Механоматематично моделиране на движението на автомобил при
2. A. Aly, E. Zeidan, A. Hamed, F. Salem, An Antilock-Braking Systems (ABS) Control: A Technical Review, Intelligent Control and Automation, 2011, 2, 186-195.

COMPUTER SIMULATION OF VEHICLE EMERGENCY BRAKING WITH ANTI-LOCK SYSTEM (ABS)

Станимир КАРАПЕТКОВ
skarapetkov@yahoo.com

Силвия ДИНЕВА
sdb@ecad.tu-sofia.bg

Иван ПЕТРОВ
aladina@abv.bg

Summary

This work investigates emergency braking car with anti-lock system (ABS). They are composed differential equations of motion of the car, which are determined with the software MATLAB. Carried out a computer simulation of emergency braking the cars with ABS. Results of numerical experiments are shown graphically.