

System bezpečnostných vzduchových vankúšov v automobile

Mačo Michal · Elektrotechnika

20.04.2015



Súčasný trend neustáleho zvyšovania bezpečnosti automobilov znamená najmä navrhovanie nových pokrokových riešení zlepšujúcich ochranu posádky vozidla v prípade nehody. Ako najdôležitejšie riešenie sa ukazuje, spolu so zvyšujúcou tuhosťou karosérie, aplikácia bezpečnostných vzduchových vankúšov. Ich úlohou je pri náraze čo najrovnomernejšie spomaliť rýchlosť cestujúceho do pokojového stavu a stlmiť tak dopady nárazu. Jednotlivé súčasti systému bezpečnostných vzduchových vankúšov musia dokonale spolupracovať, čím sa zabezpečí správna funkcia celého systému.

Úvod

System bezpečnostných vzduchových vankúšov (angl. airbags) je bezpečnostný systém na ochranu pasažierov pri dopravných nehodách predovšetkým v dopravných prostriedkoch. Hlavnou úlohou vzduchového vankúša je pri náraze jeho nafúknutím spomaliť čo najrovnomernejšie rýchlosť cestujúceho na nulu a stlmiť tak dopad nárazu na cestujúceho. Od systému sa vyžaduje ochrana cestujúceho so žiadnymi alebo len s malými následkami na jeho zdraví, predovšetkým v oblasti hlavy a hrudníka. Na základe skúseností mnohých výrobcov bezpečnostných prvkov, výrobcov automobilov a inštitúcií zaoberajúcich sa bezpečnosťou dopravy tento bezpečnostný systém dosahuje maximálnu ochrannú účinnosť v kombinácii s použitím bezpečnostných pásov, keďže nárazové testy aj prax preukázali nedostatočnú ochranu alebo dokonca zhoršenie následkov nárazu v prípade použitia iba jedného z týchto dvoch bezpečnostných prvkov.

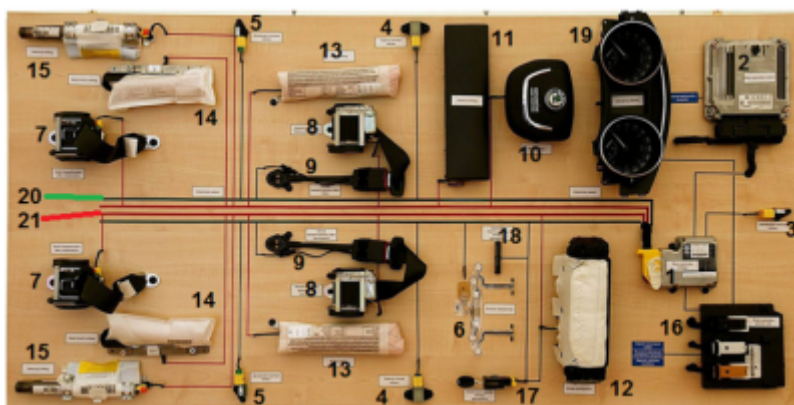
Súčasný svetový trend kladúci vysoké nároky na bezpečnosť automobilovej dopravy smeruje k dosiahnutiu čoraz vyššej úrovne ochrany cestujúcich, čo vedie k neustálemu zdokonaľovaniu a rozširovaniu možností tohto systému, ktorý má v súčasnosti svoje jednotlivé prvky alebo bloky rozmiestnené po celom vozidle. Tieto bloky komunikujú medzi sebou aj s ostatnými súčasťami vozidla. Z toho vyplýva zrejmá dôležitosť požiadavky rýchlej funkčnosti, stability a spoľahlivosti systému. Požiadavky na bezpečnosť cestujúcich tak vedú k vytvoreniu komplexného bezpečnostného systému využívajúceho pokročilú elektroniku, ktorý k svojej činnosti využíva komunikáciu medzi jednotlivými prvkami.

1. Základná konštrukcia a činnosť systému bezpečnostných vzduchových

vankúšov

Hlavné súčasti systému bezpečnostných vzduchových vankúšov sú: senzor nárazu – akcelerometre (angl. crash sensor) s príslušnou vyhodnocovacou elektronikou (ACU), vzduchový vankúš a plynový generátor (angl. inflator). S postupným vývojom bezpečnostného systému a zložitostou vyhodnocovania nehody sa ústrednou časťou bezpečnostného systému stala jeho riadiaca jednotka ACU; celý systém je rozdelený do nasledujúcich častí (Obr. 1). Snímacia časť: 3 – čelný snímač nárazu, 4 – postranné tlakové snímače nárazu, 5 – postranné snímače nárazu, 6 – senzor obsadenia sedadla, 9 – zámky bezpečnostného pásu. Riadiaca a diagnostická časť: 1 – riadiaca jednotka bezpečnostného systému (ACU), 2 – riadiaca jednotka motora, 16 – riadiaca jednotka palubnej siete, 17 – vypínač vankúša spolujazdca, 18 – kontrolka vankúša spolujazdca, 19 – prístrojový panel.

Vzduchové vankúše s plynovými generátormi: 10 – vankúš vodiča, 11 – kolenný vankúš vodiča, 12 – vankúš spolujazdca, 13 – predné bočné vankúše, 14 – zadné bočné vankúše, 15 – hlavový vankúš, 7, 8 – napínače pásov. Komunikácia a prepojenie v bezpečnostnom systéme: 20, 21 – elektrické vedenie snímacieho a aktivačného okruhu – zbernica. Zbernica slúži na prenos dát medzi senzormi, riadiacimi jednotkami, akčnými členmi, ale aj medzi obvody, pamäťou a procesorom vo vnútri riadiacej jednotky. Zbernice sú rozdelené na dve základne skupiny: synchronne – spúšťané časovo, asynchronne – spúšťané udalosťami [2].



Obr. 1. Možná koncepcia prvkov systému bezpečnostných vzduchových vankúšov automobilky Škoda auto [1].

Pri nasnímaní kritických hraníc nárazu senzorom alebo viacerými senzormi sa aktivuje plynový generátor, ktorý následne nafúkne vzduchový vankúš. S použitím riadiacej jednotky sa vyhodnocovací proces nárazu rozšíri o informácie z ďalších senzorov, čím sa zabezpečí efektívnejšia ochrana cestujúcich vo vozidle. Nafúknutie vankúša vo veľmi krátkom čase spôsobuje silný akustický prejav a následne tlakovú vlnu v prípade uzavretého priestoru ako je automobil. Z tohto dôvodu riadiaca jednotka ACU môže v prípade potreby zabezpečiť stiahnutie elektricky ovládaných okien vozidla. Bezpečnostný systém sa taktiež rozdeľuje v prevedení pre použitie v USA, Európe a zvyšku sveta. V USA je objem vankúša približne o 1/3 väčší oproti európskym vankúšom.

2. Akcelerometre

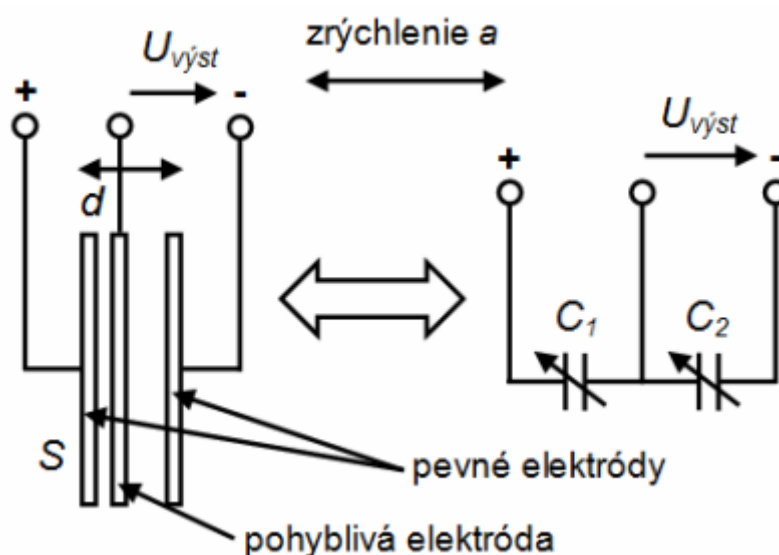
Akcelerometre (snímače zrýchlenia a) merajú silu F pôsobiacu na zotrvačnú hmotu s hmotnosťou m :

$$a = \frac{F}{m} [ms^{-2}] \quad (1)$$

Pre získanie hodnoty zrýchlenia sa porovnáva zmena polohy pružnej zotrvačnej hmoty s hmotnosťou m oproti referenčnej hodnote, ktorá je pevne spojená s meracou časťou objektu. Dôležitou vlastnosťou pri výbere správneho akcelerometra je merací rozsah g (aj sto násobky g) a počet osí v smere merania zrýchlenia a (x , y , z). Pre potrebu v automobile je vhodné zvoliť dvojosí akcelerometer (meranie zrýchlenia v osiach x , y) alebo trojosí akcelerometer (meranie zrýchlenia v osiach x , y , z). Piezoelektrické akcelerometre obsahujú piezoelektrický element, ktorý je vplyvom zrýchlenia mechanicky deformovaný. Piezoelektrickým efektom následne vzniká elektrický náboj (elektrické napätie), ktorý je úmerný pôsobiacej sile F . Výstupný signál zo senzora je spracovaný vyhodnocovacím obvodom. Kapacitné akcelerometre (Obr. 2) vyhodnocujú hodnotu zrýchlenia zmenou kapacity kondenzátorov (C_1 , C_2) spôsobenej pohybom elektródy, čím sa mení vzdialenosť medzi elektródami d alebo plocha prekrytia S elektród:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d} [F] \quad (2)$$

Výhoda kapacitných akcelerometrov oproti piezorezistívnym akcelerometrom je lepšia rozlíšiteľnosť ($mV \cdot g^{-1}$). Kapacity C_1 a C_2 tvoria spolu kapacitný delič. Spôsobená zmena kapacity sa následne prevádza prevodníkmi na elektrické napätie U , elektrický prúd I . Zmena týchto veličín je úmerná hodnote zrýchlenia a . V kludovej hodnote, keď sú obidve hodnoty kapacít rovnaké, je výsledná hodnota rozdielového napätia rovná nule [3].

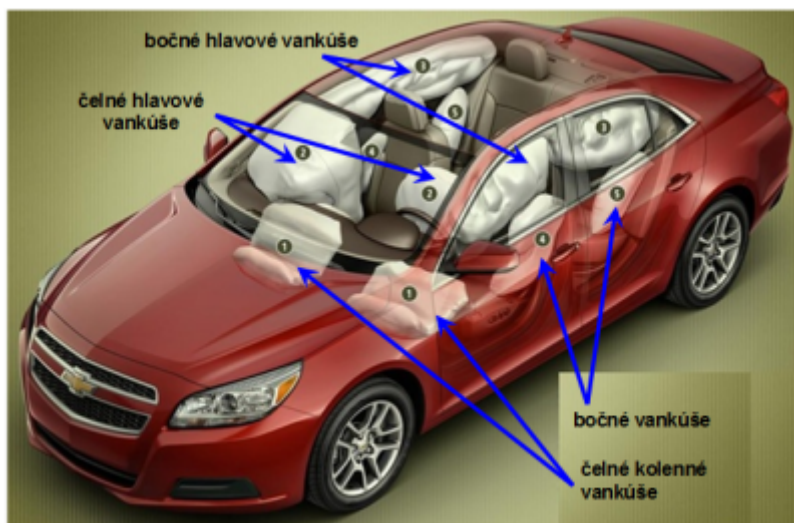


Obr. 2. Znáznornenie princípu diferencného kapacitného akcelerometra

3. Vzduchový bezpečnostný vankúš

Vzduchový vankúš je najdôležitejšia časť bezpečnostného systému vozidla. Prichádza do styku s osobou nachádzajúcou sa zvyčajne vo vozidle v prípade kolízie. V súčasnosti vzduchové vankúše môžeme deliť podľa ich umiestnenia alebo chránenej časti tela na

čelné hlavové, bočné, kolenné, centrálné umiestnené medzi prednými sedadlami, vonkajšie (umiestnené na prednej kapote) a iné vankúše (Obr. 3).



Obr. 3. Zobrazenie rozmiestnenia vankúšov v nafúknutom stave vo vozidle Chevrolet Malibu 2014 [4].

Vzduchový vankúš sa vyrába z polyamidovej alebo nylonovej látky. Je navrhnutý a zošíty do presne určeného tvaru podľa miesta uloženia a poskladaný vo volante auta, palubnej doske, sedadle alebo v rôznych častiach stĺpikov karosérie. Jeho objem je tiež závislý od miesta použitia, pričom sa pohybuje približne od 15 do 100 litrov, v niektorých prípadoch aj viac litrov. V spodnej časti vzduchového vankúša sa nachádzajú hlavné otvory, cez ktoré plyn po nafúknutí vankúša rýchlo unikne, aby vankúš neostal príliš dlho tvrdý, keďže by to mohlo pôsobiť negatívne na jeho správnu činnosť v ochrane cestujúcich. Vzduchové vankúše sú z dôvodu zachovania ohybnosti, plasticity a zamedzenia rizika prilepenia materiálu k sebe často pokryté bielym kukuričným škrobom alebo púdom – jemným práškom. Dôležité je umiestniť vankúš na vhodnom mieste s dostatočnou veľkosťou pre jeho uloženie.

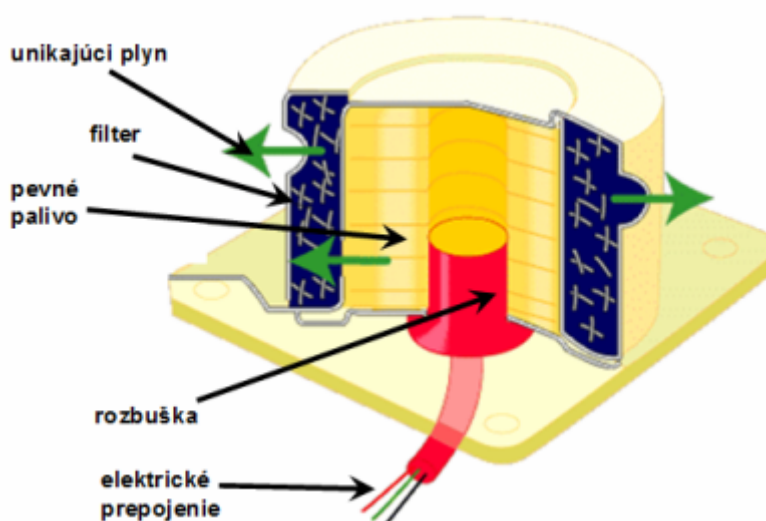
Vonkajší kryt vzduchového vankúša je vyrobený z plastu, v ktorom sú definované body poškodenia umožňujúce vytvoriť otvor pre nafúknutie vankúša. Najzložitejšie je uloženie vankúša vo volante, kde sa nachádza najmenej miesta a je potrebné otáčanie volantu spolu so vzduchovým vankúšom [5]. Kontaktná jednotka prenášajúca spúšťací prúd a monitorovacie signály medzi vankúšom umiestneným vo volante a riadiacou jednotkou musí byť odolná voči zlyhaniu vo všetkých polohách volantu. Najčastejšie sa používa takzvaný krúžok vankúša. Dnešné systémy používajú princíp trecích krúžkov, ktoré majú neobmedzené možnosti otáčania alebo sa využíva špirálovito navinutá pružina (fólia s vodičom). Navinutá pružina má obmedzenú možnosť otáčania (približne 6 otáčok) [6].

Vzduchový vankúš vodiča má zvyčajne objem 30 až 60 litrov, pričom poskytuje ochranu hlavy a tela vodiča vozidla. Pre spolujazdca sa používa väčší objem vankúša okolo 90 až 170 litrov [7]. Jeho rozvinutie spôsobuje pyrotechnický plynový generátor z pevných látok alebo aj hybridné generátory. Pre správnu činnosť ochrany cestujúceho je v oboch prípadoch potrebné nafúknutie vankúša do času 50 ms. Bočné strešné vankúše chránia hlavu cestujúceho pred bočným nárazom na pevný predmet. Ich nafúknutie trvá do 25 ms, pričom sa odhaduje, že znižujú riziko smrteľného poranenia

hlavy o 50 %. Teda čelné (hlavové, kolenné) vankúše sa nafukujú pomalšie, z dôvodu veľkej deformačnej zóny a naopak bočné hlavové vankúše sa musia nafúknuť rýchlejšie, keďže deformačná zóna je tam podstatne kratšia. Čelné kolenné vankúše chránia cestujúceho pred poranením kolien a taktiež zabraňujú zosunutiu cestujúceho zo sedadla, keďže bezpečnostný pás nedokáže dostatočne tento pohyb zadržať [8].

4. Plynový generátor

Ďalšou dôležitou súčasťou bezpečnostného systému je plynový generátor. Úlohou plynového generátora je nafúknuť vankúša v potrebnom čase a objeme pre dané chránené miesto. V súčasnosti je často používaný pyrotechnický plynový generátor, ktorý sa skladá z kovového puzdra a spalovacej komory obklopenej filtrom (Obr. 4). Priebeh vzniku plynu a vyfukovania plynu môže byť ovplyvnený zmenou chemického zloženia rozbušky, veľkosťou rozbušky, výfukovými otvormi a priepustnosťou filtra.



Obr. 4. Prierez plynovým generátorom s použitím pevných látok [9].

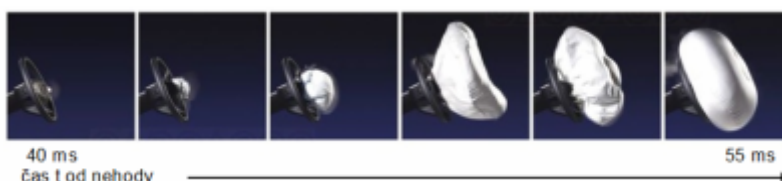
Keď plynový generátor prijme spúšťací signál v podobe krátkeho impulzu veľkého prúdu, prúd roztaví tavný drôt, čo spôsobí zápalnú teplotu výbušných materiálov rozbušky. Elektrický odpor tavného drôtu je u rôznych výrobcov približne v rozsahu 1–5 Ω . Teda sa spustí chemická reakcia – intenzívne horí pevné palivo. Unikajúce spaliny z paliva zbavené pevných častíc pomocou filtra nafúknu vankúš rýchlosťou viac ako 300 km.h⁻¹ [1]. Množstvo pevného paliva je presne vypočítané, aby objem spalín horenia presne naplnil daný vankúš. Počas reakcie vzniknutý dusík okamžite plní vzduchový vankúš, kovový sodík sa premieňa reakciou s dusičnanom draselným (KNO₃) a oxidom kremičitým (SiO₂) na bezpečnú formu silikátového skla. Generátory nepracujúce na princípe trinitridu sodíka (NaN₃) využívajú aj iné látky, ako hydrid titánu (TiH₂), chloristan draselný (KClO₄), dusičnan sodný (NaNO₃), chloristan sodný (NaClO₄) či chloristan amónny (NH₄ClO₄), ktoré nie sú zdraviu škodlivé. Napríklad pre vankúš spolujazdca sa aj dnes používajú generátory na princípe stlačeného vzduchu. Najčastejšie sú to hybridné generátory [9].

Hybridný generátor plynu využíva kombináciu malého pyrotechnického plynového generátora z pevných látok a zásobníka obsahujúceho stlačený najčastejšie inertný plyn ako je hélium, argón alebo dusík. Zásobník je naplnený inertným plynom s tlakom 35 MPa. Pri prijatí signálu o náraze vozidla sa aktivuje pyrotechnická rozbuška, ktorá

vyvinie horúci plyn a vystrelí projektíl k uzáveru zásobníka. Cez poškodený uzáver sa nafukuje vankúš plynom zo zásobníka a rozbušky.

Rozbuška plynového generátora musí mať stanovené hodnoty elektrických signálov pre jej zápalný a bezpečný prúd cez tavný drôt, maximálny prúd určený signálom na monitorovanie a diagnostiku plynového generátora. Aby sa zaistila maximálna účinnosť bezpečnostného vzduchového vankúša, je potrebné zabezpečiť jeho nafúknutie na správnu tvrdosť a tvar v priebehu niekoľkých desiatok milisekúnd. Tento čas sa môže meniť pre jednotlivé umiestnenie vankúšov. Pre čelné vankúše je z časového hľadiska priebeh nafúknutia vankúša približne nasledovný (Obr. 5).

1. V čase $t = 0$ ms vozidlo nadobudne prvý kontakt s prekážkou.
2. V čase $t = 20-40$ ms snímače zaregistrujú kolíziu, odovzdajú informáciu do riadiacej jednotky, ktorá aktivuje rozbušku.
3. V čase $t = 40-60$ ms nasleduje chemická reakcia a vytváranie plynu, čím sa pretrhne vonkajší kryt vzduchového vankúša a vankúš sa začína nafukovať. Vankúš spolujazdca je oneskorený približne o 10 ms oproti vankúša vodiča v dôsledku jeho umiestnenia k cestujúcemu.
4. V čase $t = 55$ ms by mal byť už vankúš vodiča plne nafúknutý, keďže vtedy dochádza k vymršteniu vodiča vpred. Časy úplného nafúknutia jednotlivých vankúšov sa mierne líšia. Najrýchlejšie sa nafukujú vankúše umiestnené v časti vozidla, kde je krátka deformačná zóna, napríklad bočné vankúše, ktorých čas plného nafúknutia je najkratší. Naopak, najdlhšie sa nafukuje spolujazdcov vankúš, približne 60 - 70 ms.
5. V čase $t = 85$ ms vodič dosahuje plné ponorenie do vankúša, po ktorom nasleduje jeho pohyb späť od volantu. Po úplnom nafúknutí sa začína rýchle vyfukovanie regulované pomocou otvorov na spodnej časti vankúša. Správne načasovanie vyfúknutia vankúša je veľmi dôležité z hľadiska bezpečnosti. Náraz častí tela cestujúceho musí byť načasovaný tak, aby k stretu so vzduchovým vankúšom došlo, keď sa už vankúš vyfukuje a mäkne, inak by mohlo dôjsť k stretu pasažiera s vankúšom v čase jeho najväčšej tvrdosti, čo zvyšuje riziko zranenia. Hodnota tohto času sa pohybuje v rozmedzí $t = 70-100$ ms.
6. Od času približne $t = 110-120$ ms sa telo cestujúceho pohybuje späť smerom k sedadlu.
7. Následne v čase $t = 150$ ms sa cestujúci vráti naspäť do sedadla a vankúš sa úplne vyprázdni [10].



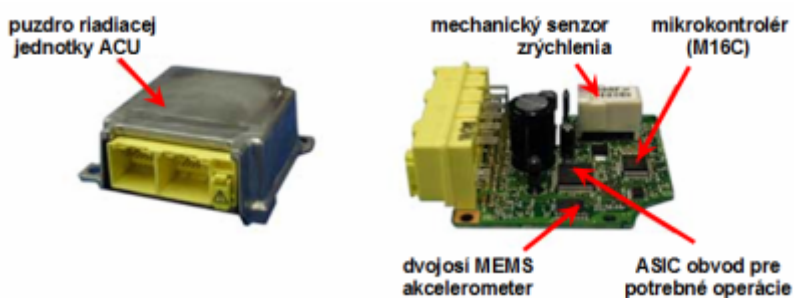
Obr. 5. Zobrazenie nafúknutia vzduchového vankúša v čase t [10].

5. Riadiaca jednotka systému bezpečnostných vzduchových vankúšov

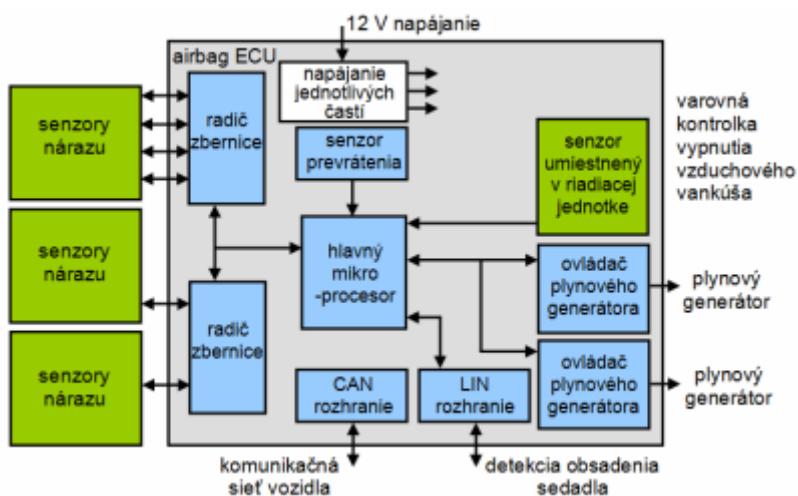
Úlohou riadiacej jednotky (ACU) bezpečnostného systému vzduchových vankúšov je kontrolovať a vyhodnocovať prijímané signály zo senzorov za účelom aktivovania jednotlivých vzduchových vankúšov v prípade nastania kolízie. Okrem toho ACU môže ďalej riadiť napínače pásov, rýchlosť nafukovania vzduchového vankúša, brzdiaci systém vozidla, prípadne zasiahnuť do činnosti palivového a elektrického obvodu motora či odoslať informáciu o nehode záchraným zložkám. V súčasnej dobe, keď je vo vozidle použitých viacero vzduchových bezpečnostných vankúšov v spojení s

bezpečnostnými pásmi a inými prvkami vplyvujúcimi na chod vozidla, je vyhodnocovanie riadiacou jednotkou zložitejšie.

Tá na základe informácií z viacerých senzorov ako senzora zrýchlenia, bočných snímačov tlaku, senzorov rýchlosti kolies, gyroskopu, snímačov brzdného tlaku až po snímače obsadenia sedadiel určuje smer zrýchlenia, silu nárazu, rýchlosť vozidla a pomocou spúšťacích algoritmov vyhodnotí, či je potrebné aktivovanie plynového generátora vzduchového vankúša na príslušnom obsadenom mieste. To znamená zamedzenie aktivácie vankúšov pri malých rýchlostiach vozidla, deaktiváciu vankúša na miestach obsadených dieťaťom alebo aktiváciu iba potrebných vankúšov. Zložitosť riadiacej jednotky (Obr. 6, Obr. 7) a spúšťacích algoritmov závisia od stupňa výbavy a rozsahu bezpečnostných a riadiacich prvkov automobilu. Tieto algoritmy sú vlastníctvom jednotlivých výrobcov.



Obr. 6. Zobrazenie riadiacej jednotky (ACU) od spoločnosti Mitsubishi Electric [11].



Obr. 7. Príklad blokovej schémy riadiacej jednotky (ACU) bezpečnostných vankúšov a jej jednotlivých súčastí [12].

Pre prípadne poškodenie elektrického napájania bezpečnostného systému môže byť použitý záložný zdroj v podobe batérie alebo kondenzátora na napájanie a zabezpečenie elektrickej energie pre zapálenie plynového generátora [13]. Hlavnou časťou riadiacej jednotky je najčastejšie 16 alebo 32 bitový mikropočítač, v ktorom sa spracúvajú prijaté signály na základe uloženého programu. Pre prijaté signály z externých senzorov je do jednotky zaradený Master slúžiaci na riadenie signálu zo senzorov k mikroprocesoru cez komunikačné rozhrania. Ovládač plynového generátora slúži ako koncový stupeň pre vzduchový vankúš. V prípade prijatia správy o kolízii z mikropočítača sa aktivuje daný plynový generátor. Riadiaca jednotka tiež umožňuje diagnostiku napájacieho okruhu plynového generátora. V dôsledku použitia

najbežnejšej 12 V sústavy vo vozidle, na ktorý sa pripája riadiaca jednotka, je potrebný napájací blok poskytujúci rôzne úrovne napätia pre jednotlivé súčasti riadiacej jednotky. Pre komunikáciu s ďalšími senzormi a akčnými členmi vozidla je v riadiacej jednotke umiestnené LIN fyzické rozhranie. V dôsledku náročnejších požiadaviek pre komunikáciu riadiacej jednotky a potreby vykonania diagnostiky systému je zavedené taktiež CAN komunikačné rozhranie.

Na základe informácií o nehode (zo senzorov v danom automobile) riadiaca jednotka rozhodne o aktivácii vzduchových vankúšov na základe vložených algoritmov. Ak napríklad pri čelnej zrážke riadiaca jednotka vyhodnotí signály z bočných senzorov za prípustné, dôjde iba k aktivácii čelných vzduchových vankúšov. Naopak, ak nastane bočný náraz, riadiaca jednotka aktivuje bočné vzduchové vankúše. Prijatou informáciou zo senzorov obsadenia sedadla (spínač bezpečnostných pásov, meranie obsadenia človekom alebo predmetom) riadiaca jednotka taktiež vyhodnotí, či je potrebná aktivácia vankúša. Tieto informácie z oblasti sedadla zamedzujú aktivácii vzduchového vankúša v prípade neobsadenia sedadla, obsadenia sedadla predmetom alebo detskou sedačkou s dieťaťom. Takéto zamedzenie je možné aj manuálnym spínačom spolujazdcovoho či vodičovho vzduchového vankúša. Toto zamedzenie je vedomé a určené cestujúcim. Moderné systémy tiež dokážu pre vzduchové vankúše riadiť zádržný účinok aktivovaním plynového generátora v dvoch fázach. Pre takýto spôsob sa hodnotia kritéria ako závažnosť nárazu, použitie bezpečnostných pásov, sklon operadla a poloha sedadla, pozícia a hmotnosť cestujúceho.

Záver

Systém bezpečnostných vzduchových vankúšov je v súčasnej dobe základnou výbavou každého osobného motorového vozidla. Správne zosúladenie systému s bezpečnostnými pásmi znižuje riziko smrteľných alebo vážnych dôsledkov poranení cestujúceho vo vozidle spôsobených nehodou. Systém využíva pre správne posúdenie priebehu nehody senzory nárazu a musí pracovať v prípade kolízie úplne bezchybne. V neposlednom rade je potrebné, aby jednotlivé súčasti systému poskytovali vysokú spoľahlivosť a požadovanú životnosť vo všetkých prevádzkových podmienkach.

Použitá literatúra

1. http://auto.idnes.cz/video-podivejte-se-jak-funguji-airbagy-je-to-alchymie-pc6-/automoto.aspx?c=A101011_175113_automoto_fdv
2. ŠTERBA, P. - ČUPERA, J.: Autoelektronika, Computer Press, 2010.
3. <http://www.kam.sjf.stuba.sk/katedra/publikacie/leonardo/ucebnica/05s.pdf>
4. <http://www.caranddriver.com/photos-12q4/478272/2013-chevrolet-malibu-airbags-photo-478462>
5. <http://media.daimler.com/dcmedia/0-921-657486-1-1228592-1-0-1-0-0-0-0-614318-0-3842-0-0-0-0.html>
6. http://www.emercedesbenz.com/autos/mercedes-benz/classic/mercedes-benz-safety-history-of-the-airbag-and-restraint-system/attachment/mercedes-benz-airbag-history437460_716237_3175_3225_14142_cl0589/
7. http://ec.europa.eu/transport/roadsafety_library/publications/cita_study_2.pdf
8. <http://www.autoliv.com/ProductsAndInnovations/PassiveSafetySystems/Pages/Airbags/DriverAirbags.aspx>

9. <http://auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/safety-regulatory-devices/airbag1.htm>
10. <http://www.cars-service.sk/index.php/bezpecnost/87-airbag-a-vasa-bezpecnost>
11. http://www.mitsubishielectric.com/bu/automotive/products/safety_and_security2/safe07.html
12. http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=MMA16xx
13. http://www.moditech.com/rescue/index3.php?action=safety_system&page=airbag

Spoluautori článku sú Ing. Pavol Cabúk, PhD. a Ing. Juraj Ďurišin, PhD. Katedra technológií v elektronike, FEI TU v Košiciach, Park Komenského 2, 040 01 Košice.
