Riešenie mechanického tempomatu pre osobný automobil

Solution of the mechanical cruise control for vehicle

Peter Girovský[1], Jakub Fekete[2]

[1]peter.girovsky@tuke.sk, [2]jakub.fekete@student.tuke.sk

[1,2]Katedra elektrotechniky a mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 04200 Košice, Slovenská Republika

***Abstrakt*— V tomto článku by sme chceli predstaviť realizáciu mechanického tempomatu. Tento tempomat je prezentovaný ako mechatronický systém pre udržiavanie rýchlosti vozidla. Pri návrhu tempomatu sa kládol dôraz na "low-cost" riešenie. Princíp funkcie v mechanického tempomatu je založený na regulácii polohy škrtiacej klapky. Pre správnu činnosť mechanického tempomatu bolo potrebné vyriešiť niektoré konkrétne úlohy súvisiace so snímaním rýchlosti, s konštrukciou samotného zariadenia pre regulovanie polohy škrtiacej klapky, ako aj návrh riadiaceho systému celého mechanického tempomatu. Informácie o rýchlosti vozidla sme získali použitím Hallovho snímača, ktorý je pripojený na magnetický krúžok automobilového tachometra. Na ovládanie škrtiacej klapky bol použitý malý servopohon a pre riadenie bolo použité Arduino. Navrhnuté riešenie mechanického tempomatu bolo realizované pre automobil Škoda Felícia.**

Kľúčové slová*— *tempomat, servomotor, riadenie, vozidlo, škrtiaca klapka

***Abstract*— In this article we would like to present mechanical cruise control realization. This cruise control is presented as mechatronics device for vehicle speed maintenance and has been proposed as a "low-cost" solution. Principle of function in mechanical cruise control is based on a position control of throttle. For the right action of mechanical cruise control it was need to solve some particular tasks related with speed sensing, construct of device for control of throttle position and design of control system of whole mechanical cruise control. Information about car velocity we have gained using Hall sensor attached on a magnetic ring of car tachometer. For control of the throttle was used a small servo drive and as the control unit was used Arduino. The designed solution of mechanical cruise control have been realized for car Škoda Felicia.**

Keywords*— *cruise control, servo drive, controller, vehicle, throttle

I. ÚVOD

Vývoj automobilového priemyslu napreduje míľovými krokmi. Zatiaľ čo ešte pár rokov dozadu patrilo autorádio medzi výdobytok modernej technológie, dnes si jazdu v aute bez neho vieme len ťažko predstaviť. Každým dňom sa v automobile vyskytuje stále viac elektronických systémov, ktorých hlavnou úlohou je nielen uľahčiť vodičom jazdu autom, ale predovšetkým urobiť ju bezpečnejšou. Medzi systémy, ktoré sa stávajú už prakticky základnou výbavou každého automobilu patrí tempomat.

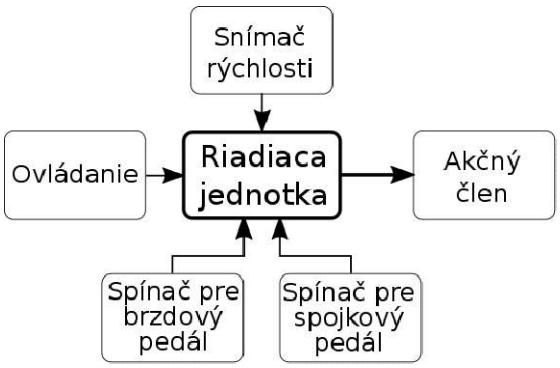
Tempomat ako systém na udržiavanie konštantnej rýchlosti vozidla, predstavuje odbremenenie vodiča od nutnosti sledovať rýchlomer a držať neustále nohu na plynovom pedáli, čo hlavne pri jazdách na dlhých trasách môže byť dosť únavné. Od začiatku automobilového priemyslu prešiel vývoj tempomatu dlhou cestou, od výlučne mechanických princípov, ktoré slúžili na udržiavanie konštantných otáčok motora, cez elektromechanické tempomaty regulujúce rýchlosť vozidla až po plne elektronické tempomaty.

Počiatky tempomatu siahajú približne do roku 1788. Prvými vynálezcami zaoberajúcimi sa touto problematikou boli James Watt a Matthew Boulton, ktorí využívali odstredivý regulátor na ovládanie parných motorov. Úlohou ich zariadenia bolo udržiavať otáčky na konštantnej hodnote, čo bolo v podstate veľmi blízko k regulácii na konštantnú rýchlosť.

Moderný tempomat bol vynájdený mechanickým inžinierom Ralphom Teetorom, ktorý si ako prvý nechal patentovať. Prvý automobil s týmto vynálezom bol Chrysler Imperial z roku 1958. Tento tempomat počítal rýchlosť otáčok hnacieho hriadeľa z údajov tachometra, pričom akčným členom pri zásahu do polohy škrtiacej klapky bol elektrický motor. [1], [3], [7-9]

II. NÁVRH RIEŠENIA MECHANICKÉHO TEMPOMATU

Tempomat predstavuje elektromechanický systém pozostávajúci z niekoľkých základných prvkov. K týmto prvkom patria snímač rýchlosti, spínač pre brzdový a spojkový pedál, ovládacie a akčné členy. Všetky tieto prvky spolupracujú s riadiacou jednotkou ktorá spracováva vstupné signály a riadi výstupné veličiny. [2]



Obr. 1. Bloková schéma základných prvkov tempomatu

Návrh mechanického tempomatu bol robený pre vozidlo Škoda Felícia s manuálne ovládanou škrtiacou klapkou prepojenou lankom s plynovým pedálom vozidla. Návrh riadenia tempomatu vychádzal z riadenia polohy škrtiacej klapky pomocou natáčania polohy servomotora a pri realizácií tohto riadenia bolo potrebné vyriešiť niekoľko čiastočných úloh spojených s jednotlivými prvkami tempomatu zobrazených na Obr. 1.

A. Snímanie rýchlosti

Základným údajom, pre prácu tempomatu je údaj o rýchlosti. Nakoľko je meranie rýchlosti v Škode Felícia realizované pomocou mechanického náhonu, bolo potrebné tento údaj previesť do elektronickej formy tak, aby ho bolo možné využiť túto informáciu o rýchlosti vozidla pri jej riadení. Konštrukcia tachometra Felície obsahuje magnetický prstenec, ktorý je možné za pomoci vhodného snímača využiť na snímanie rýchlosti vozidla. Z tohto dôvodu bol pre elektronické snímanie rýchlosti použitý obvodu s Hallovým snímačom. [5]

Týmto sme získali pomocou otáčania sa magnetického prstenca tachometra informáciu o rýchlosti vozidla. Dôležité je však presné umiestnenie snímača do správnej pozície voči magnetickému prstencu, aby snímač dokázal správne snímať impulzy z magnetických pólov prstenca.

Výstupné signály z Hallovho snímača boli priamo použité pre výpočet rýchlosti vozidla v riadiacej jednotke. Počas jednej otáčky sme zo snímača dostali štyri impulzy.

B. Snímanie stlačenia brzdy a spojky

Pre snímanie stlačenia brzdového pedálu bol použitý originálny spínač pre brzdové svetlá. Nakoľko tento spínač pracuje s napätím siete vo vozidle, bolo potrebné upraviť toto napätie tak, aby sa signál zo spínača dal využiť ako logický vstup pre riadiacu jednotku tempomatu. Na úpravu tohto napätia na vhodnú úroveň bol použitý stabilizátor napätia 78L05, ktorého výstupné napätie je 5V s prúdovou zaťažiteľnosťou do 100mA.

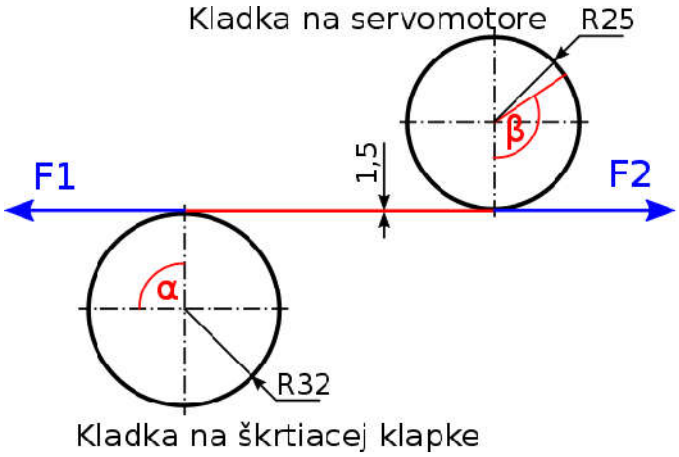
Pre snímanie stlačenia spojkového pedálu je potrebné namontovať samostatný spínač, pričom najefektívnejším riešením vzhľadom na použitú kabeláž a na to, že spínače brzdového a spojkového pedálu budú slúžiť k rovnakému účelu je zapojiť tieto dva spínače.

C. Akčný člen

Keďže riešenie mechanického tempomatu vychádza z riadenie polohy škrtiacej klapky, bolo potrebné zvoliť vhodný akčný člen a mechanizmus, ktorým by sa dala jednoducho riadiť poloha škrtiacej klapky automobilu a v konečnom dôsledku aj jeho rýchlosť. Ako akčný člen bol vybraný modelársky servopohon pre jeho jednoduché riadenie, pričom informácie o polohe servomotora je získavaná prostredníctvom potenciometra.

Servomotor bol vybraný na základe momentu, ktorý musí servomotor vyvinúť na prekonanie sily, ktorú vyvíja pružina škrtiacej klapky motora podľa Obr. 2. Sila pružiny F1 bola nameraná elektronickým silomerom vo vzdialenosti rovnajúcej sa vnútornému polomeru kladky, v ktorej je uložené pôvodné plynové lanko. Polomer tejto kladky je 32mm od stredu hriadele. Maximálny uhol otvorenia škrtiacej klapky je α=90°, pričom proti pôsobí už spomínaná sila F1. Proti tejto sile musí pôsobiť servomotor silou F2, pričom maximálny uhol otočenia servomotora je β=120°.

Zvolený pohon má krútiaci moment 2,45 Nm, čo znamená, že na polomere remenice servomotora 25 cm môže vyvinúť dostatočnú silu na prekonanie sily pružiny škrtiacej klapky.



Obr. 2. Principiálna schéma umiestnenia kladiek vrátane pôsobiacich síl vratnej pružiny F1 a sily servomotora F2

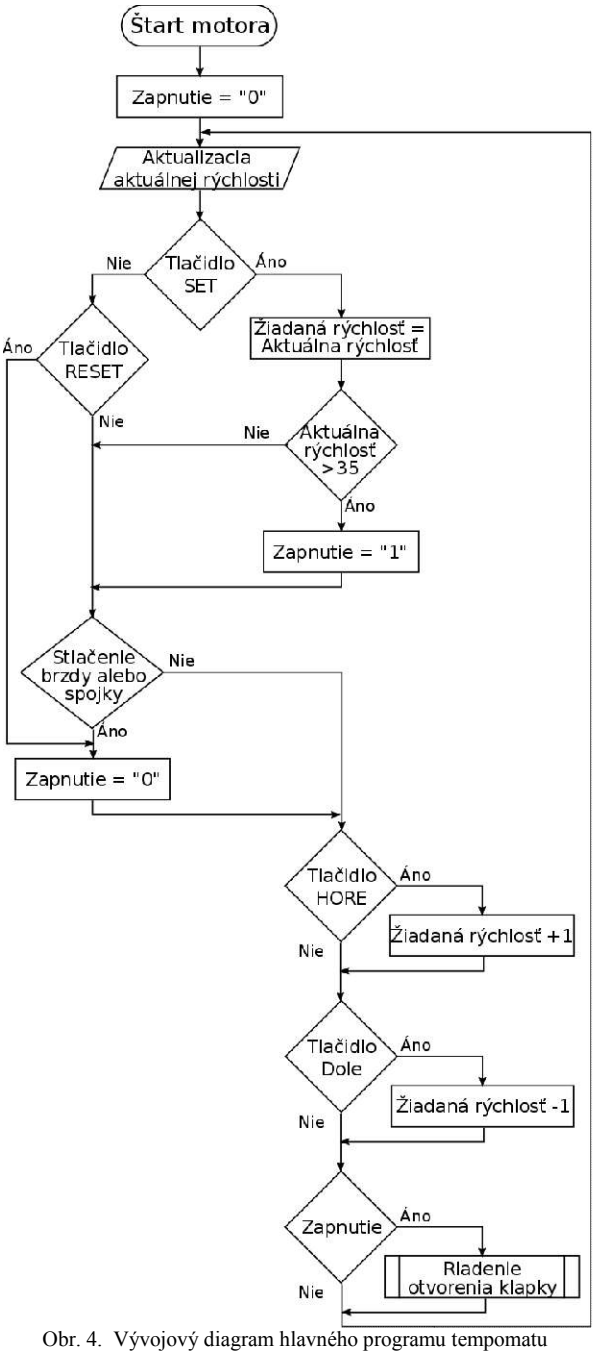
D. Riadenie

Vzhľadom na jednoduchosť programovania, konektivitu a veľmi dobrú podporu bola pre riadenie zvolené doska Arduino Due s 32 bitovým mikroprocesor s frekvenciou 84MHz - SAM3X8E Cortex-M3 ARM. [5]

Na obsluhu tempomatu sa využívajú dve tlačidlá, ktoré majú 4 funkcie. Je to dosiahnuté tým, že stlačenia tlačidiel sú rozlíšene na dlhé a krátke. Krátke stlačenia predstavujú zapnutie tempomatu pomocou funkcií SET a RESET. Dlhé stlačenia slúžia na prispôsobenie koncovej rýchlosti vozidla.

Obr. 3. "SET" a "RESET" tlačidlo pre nastavenie tempomatu spolu so zobrazením aktuálnej a žiadanej hodnoty rýchlosti

Hlavný riadiaci program, ktorý beží v nekonečnej slučke je zobrazený na obrázku 4. Hlavný riadiaci program obsahuje volania jednotlivých funkcií, ktoré majú za úlohu načítať vstupné údaje, vyhodnotiť ich a na základe nich vykonať príslušnú akciu na výstupe, ako napr. nastaviť potrebný uhol servomotora.



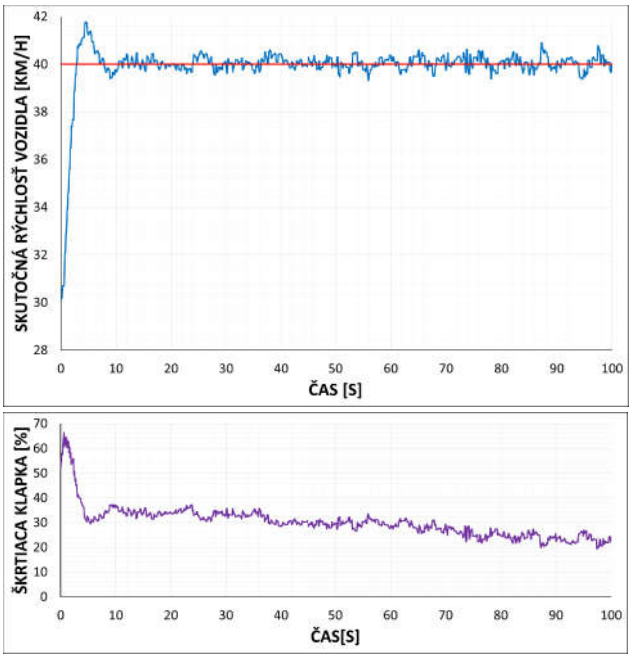
Obr. 4. Vývojový diagram hlavného programu tempomatu

Pri štarte motora je konštanta "*Zapnutie*" nastavená na hodnotu 0. Aktualizácia hodnoty aktuálnej rýchlosti prebieha nepretržite, nezávisle od funkcie tempomatu. Nakoľko sú tlačidlá realizované cez prerušenia, ich overenie nastáva až po príchode konkrétneho prerušenia. Toto overovanie prebieha v nekonečnej slučke celkového programu. Pri stlačení tlačidiel "*SET*" alebo "*RESET*" je nutné overiť podmienku minimálnej rýchlosti. Ak je podmienka minimálnej rýchlosti splnená, premenná "*Zapnutie*" sa zmení na hodnotu 1. K overeniu tejto premennej dochádza na konci slučky, pričom program aktivuje PID regulátor a zároveň dôjde k nastaveniu polohy servomotora. V opačnom prípade riadiaci program začne od začiatku aktualizovať aktuálnu rýchlosť. Overovanie stlačenia tlačidiel "*UP*" a "*DOWN*" nastáva ešte pred kontrolou zapnutého stavu, aby regulátor mohol rátať už s vykonanou zmenou rýchlosti. Vypnutie tempomatu sa vykoná stlačením tlačidla "*RESET*" alebo stlačením brzdového resp. spojkového pedála, pričom pri vypnutí tempomatu je konštanta "*Zapnutie*" nastavená na hodnotu 0, dôjde k okamžitému uvoľneniu servomotora a deaktivácii PID regulátora.

Dôležitou súčasťou riadiaceho programu je nastavenie regulátora PID, ktorý riadi servomotor a tým aj polohu škrtiacej klapky vozidla. Pre nastavenie PID regulátora existuje niekoľko metód, ale v tomto prípade bol PID regulátor nastavený experimentálne. Proporcionálna zložka regulátora nastavuje mieru otvorenia škrtiacej klapky na základe rozdielu medzi požadovanou a skutočnou rýchlosťou vozidla. Preto, čím je vozidlo bližšie k dosiahnutiu cieľovej rýchlosti, tým pomalšie zrýchľuje. V prípade, že rozdiel medzi požadovanou a skutočnou hodnotou rýchlosti ja záporná hodnota, miera otvorenia škrtiacej klapky bude nastavená na hodnotu nula. Integrálna zložka regulátora spôsobuje rýchlejšie vyváženie rozdielu medzi cieľovou a skutočnou rýchlosťou a derivačná zložka sa uplatňuje pri malých zmenách rýchlosti. Proporcionálna zložka regulátora bola v našom prípade nastavená na hodnotu 0.3, integračná zložka na hodnotu 0.2 a derivačná zložka na hodnotu 0.01. Takéto nastavenie konštánt PID regulátora zabezpečilo dostatočnú dynamiku tempomatu, zároveň však tieto hodnoty nemajú vplyv na celkovú dynamiku rýchlosti vozidla. Dynamiku vozidla ovplyvňujú celková hmotnosť vozidla a výkon motora, ktoré sa však pri návrhu PID regulátora nebrali do úvahy.

III. PRAKTICKÉ OVERENIE TEMPOMATU

Funkčnosť navrhnutého riešenie tempomatu bolo prakticky overené na vozidle Škoda Felícia, pričom výsledky jednotlivých testov sú zobrazené graficky. Počas jednotlivých testov sa sledovalo, udržiavanie konštantnej rýchlosť pri zmene podmienok a odozva tempomatu na zmenu žiadanej rýchlosti. Vzorkovací čas pre snímanie rýchlosti vozidla bol 1ms. Na jednotlivých priebehoch sú zobrazené žiadaná a aktuálna hodnota rýchlosti vozidla a hodnota miery otvorenia škrtiacej klapky.



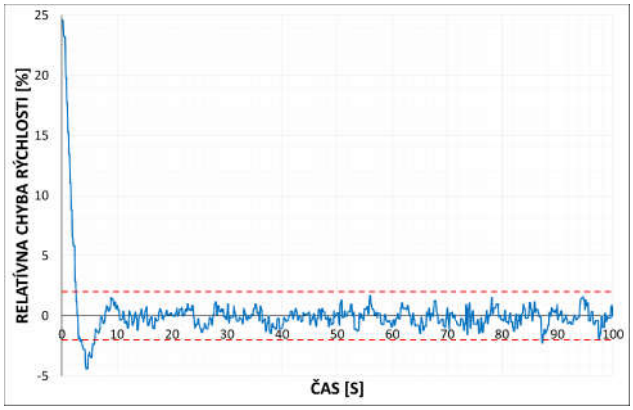
Obr. 5. Test udržiavania konštantnej rýchlosti a odpovedajúca hodnota miery otvorenia škrtiacej klapky

Na obrázku 5 môžeme vidieť, že tempomat udržiava požadovanú rýchlosť aj vzhľadom na meniace sa podmienky a

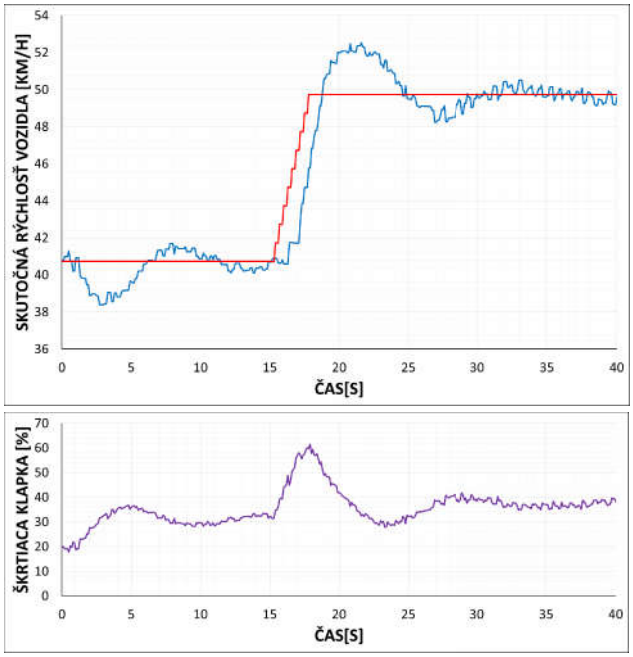
odpovedajúci priebeh miery otvorenia škrtiacej klapky pre danú rýchlosť vozidla. Na začiatku testu vozidlo zrýchľovalo pri miernom skolene vozovky z rýchlosti 30 km/h na rýchlosť 40 km/h. V rozmedzí 10 až 35 sekúnd išlo vozidlo konštantnou rýchlosťou pri miernom stúpaní. V čase od 35 do 70 sekúnd sa vozidlo pohybovalo po rovine a v tomto čase môžeme vidieť, že miera otvorenia škrtiacej klapky je menšia ako pri jazde do kopca. Posledná časť grafu bola zaznamenaná pri jazde vozidla na ceste s miernym sklonom, pričom na konci merania sa sklon cesty zvýšil. Miera otvorenia škrtiacej klapky sa zmenšila, aby sa prispôsobila rýchlosti vozidla. Celkový test trval 100 sekúnd.

Rozdiel medzi aktuálnou a požadovanou rýchlosťou v ustálenom stave bola približne ±2%. Tento rozdiel je zobrazený na obrázku 6, vyjadrený ako relatívna chyba δ, ktorá bola vypočítaná podľa nasledujúceho vzorca.

$$\delta = \frac{\text{žiadaná rýchlosť} - \text{aktuálna rýchlosť}}{\text{žiadaná rýchlosť}} . 100\% \qquad (1)$$



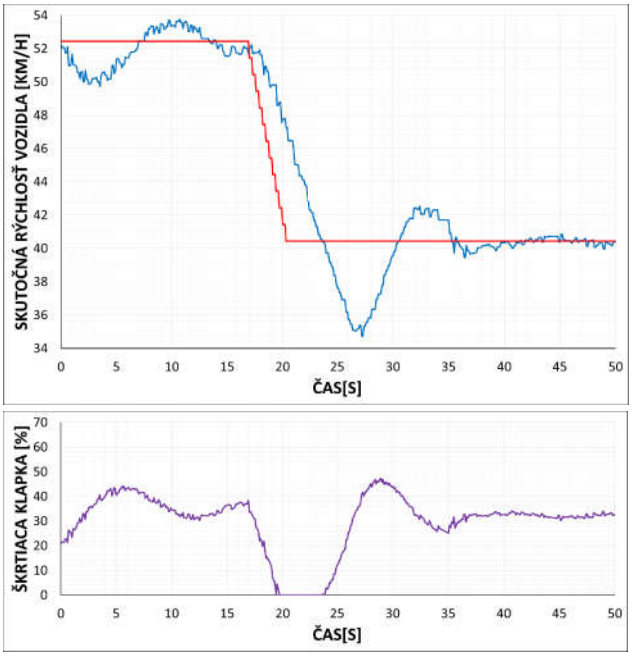
Obr. 6. Zobrazenie relatívnej chyby pri teste udržiavania konštantnej rýchlosti



Obr. 7. Zvýšenie žiadanej hodnoty rýchlosti a odpovedajúca hodnota miery otvorenia škrtiacej klapky

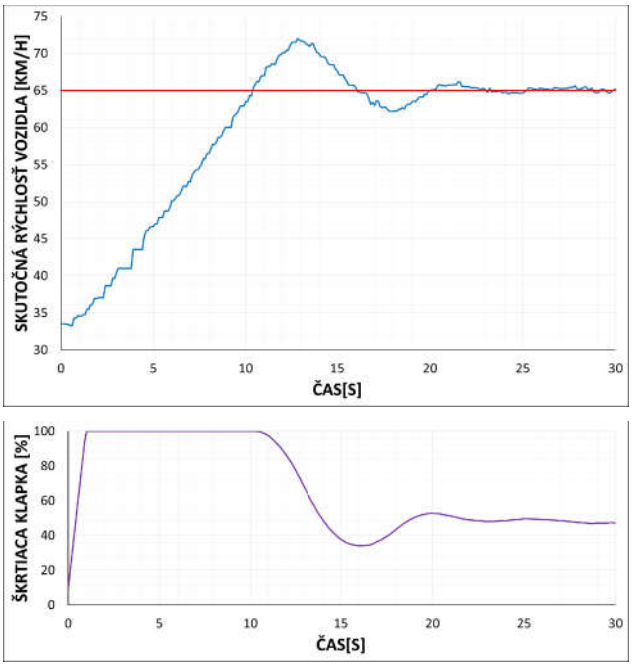
V priebehu testov bola sledovaná aj odozva navrhnutého tempomatu na zmenu požadovanej rýchlosti pri zrýchľovaní resp. pri brzdení na požadovanú rýchlosť. Jednotlivé výsledky sú uvedené na obrázku 7, resp. na obrázku 8.

Zrýchlenie vozidla bolo sledované z rýchlosti 40 km/h pričom cieľová rýchlosť bola 50 km/h a spomalenie vozidla z rýchlosti 50 km/h na cieľovú rýchlosť 40 km/h.



Obr. 8. Zníženie žiadanej hodnoty rýchlosti a odpovedajúca hodnota miery otvorenia škrtiacej klapky

Na obrázku 9 je znázornený priebeh testu, pri ktorom tempomat musí reagovať na skokovú zmenu požadovanej rýchlosti.



Obr. 9. Skoková zmena žiadanej hodnoty rýchlosti a odpovedajúca hodnota miery otvorenia škrtiacej klapky

Vozidlo sa na začiatku testu pohybuje rýchlosťou 33,5 km/h pričom cieľová rýchlosť tempomatu bola nastavená na

65 km/h. Ako je zrejmé z obrázka, vozidlo dosiahlo požadovanú rýchlosť približne za 10 sekúnd.

IV. ZÁVER

V tomto článku sme predstavili návrh a implementáciu tempomatu pre osobné vozidlo. Hardvér ako aj softvér tohto mechatronického systému boli navrhnuté tak, aby regulovali regulovanú rýchlosť vozidla na základe riadenia polohy škrtiacej klapky. Toto riešenie bolo navrhnuté s ohľadom na cenu a v konečnej fáze bolo realizované a testované na vozidlo Škoda Felícia. Ako je zrejmé z výsledkov testov, uvedených na konci článku, navrhovaný systém bol schopný udržať požadovanú rýchlosť vozidla nielen na rovnej ceste, ale aj pri jazde na kopec a z kopca. Relatívna chyba otáčok v ustálenom stave bola menšia ako ± 2%.

POĎAKOVANIE

Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/ Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ. Tento článok bol vypracovaný v rámci projektu "Centrum excelentnosti integrovaného výskumu a využitia progresívnych materiálov a technológií v oblasti automobilovej elektroniky", ITMS 26220120055.

POUŽITÁ LITERATÚRA

[1] HATCH, Steve V.: Computerized Engine Controls, Cengage Learning Inc. 2012, ISBN 978-1-111-13490-7

[2] RIBBENS, William: Understanding Automotive Electronics - An Engineering Perspective. Elsevier, 2012. ISBN 978-0-08-097097-4

[3] ZHANG, Peng: Advanced Industrial Control Technology, Elsevier, 2010, ISBN 978-1-4377-7807-6

[4] SCHÄUFFELE, Jörg ZURAWKA, Thomas: Automotive Software Engineering - Principles, Processes, Methods, and Tools, SAE International, 2005. ISBN 978-0-7680-1490-5

[5] Data Sheet, V1.5: Uni- and Bipolar Hall IC Switches for Magnetic Field Applications, Published by Infineon Technologies AG, Nov. 2007 http://www.farnell.com/datasheets/1835879.pdf

[6] Arduino Due, technical specification and documentation https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDue

[7] BASSHUYSEN, Richard van; SCHÄFER, Fred: Internal Combustion Engine Handbook - Basics, Components, System, and Perspectives (2nd Edition). SAE International, 2016. ISBN 978-0-7680-8024-7

[8] STEVENS, Alan; BRUSQUE, Corinne; KREMS, Josef: Driver Adaptation to Information and Assistance Systems, Institution of Engineering and Technology, 2014. ISBN 978-1-84919-639-0

[9] SEIFFERT, Ulrich; WECH, Lothar: Automotive Safety Handbook (2nd Edition), SAE International, 2003. ISBN 978-0-7680-1798-4

[10] CORNELL, Chuck: Control Systems Engineer Technical Reference Handbook, ISA, 2012. ISBN 978-1-937560-47-8

[11] O'DWYER, Aidan: Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules (3rd Edition), World Scientific, 2009. ISBN 978-1-84816-242-6

[12] ELLIS, George: Control System Design Guide - Using Your Computer to Understand and Diagnose Feedback Controllers (4th Edition), Elsevier, 2012. ISBN 978-0-12-385920-4

P. Girovský sa narodil v roku 1979 vo Vranove nad Topľou. V roku 2003 získal titul Ing. a v roku 2009 získal titul PhD. na Fakulte elektrotechniky a informatiky TU v Košiciach v odbore Silnoprúdové inžinierstvo. V súčasnosti pracuje ako odborný asistent na Katedre elektrotechniky a mechatroniky FEI TU v Košiciach.