

Ing. František V O J T A

Simulace brzdění automobilu s regulátorem brzdné síly

Kandidátská disertační práce

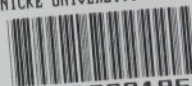
U 259 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC I, STUDENTSKÁ 8
PSČ 461 17

Vědní obor : 23 - 01 - 9

Části strojů a mechanismů

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146088195

Obsah

Přehled označení	3
Ú v o d	7
a) Přehled o současném stavu řešení problematiky, která je předmětem disertace a odborné literatury, jež se zabývá zkoumanými otázkami	7
b) Cíl disertace	9
c) Zvolené metody zpracování	10
1.0. Simulační model vozidla	11
1.1. Výchozí předpoklady pro návrh modelu	11
1.2. Mechanický model vozidla	12
1.3. Základní matematický model vozidla	13
1.4. Metoda výpočtu při simulaci	14
1.5. Blokové schéma simulačního obvodu	15
2.0. Akční člen v systému brzdy	16
2.1. Mechanický model akčního členu	16
2.2. Matematický model akčního členu	17
2.3. Blokové schéma výpočtu akčního zásahu	19
3.0. Brzdový moment	21
3.1. Náběh brzdového momentu	21
3.2. Odbrždování akčním členem	22
4.0. Skluzové charakteristiky třecí dvojice pneumatika-vozovka ..	25
4.1. Výpočet přilnavosti v průběhu simulace	25
5.0. Definice regulační odchylky při brzdění	28
6.0. Regulační PID	31
7.0. Kritéria kvality regulace	32
8.0. Historie vzniku simulačního modelu	34
9.0. Počítačový program pro simulaci brzdného procesu	35
9.1. Přehled řešených rovnic a jejich realizace v programu ..	35
9.2. Krok výpočtu	35
9.3. Vstupní data	35
9.4. Manipulace s programem	35
9.5. Uložení vypočtených hodnot na magnetickou pásku	42
9.6. Interní význam a požití proměnných v programu	43
9.7. Program tisku tabulek vybraných funkcí	44
9.8. Program tisku grafických průběhů vybraných funkcí	46
Z á v ě r	48
a) Výsledky disertace s uvedením nových poznatků	48
b) Konkrétní závěry pro realizaci ve společenské praxi	49
c) Konkrétní závěry pro další rozvoj vědy	49
L i t e r a t u r a	50
S e z n a m p ř í l o h	51
P o z n á m k y	51

Přehled označení

- b_v - translační zrychlení (zpoždění) vozidla
- $\overline{b_v}$ - střední hodnota translačního zrychlení (zpoždění) vozidla v průběhu simulace
- c_3 - tuhost brzdové soustavy před hlavním brzdovým válcem
- c_y - tuhost brzdové soustavy v mechanickém modelu akčního členu
- c_{y1} - tuhost brzdové soustavy před pístem akčního členu
- c_{y2} - tuhost brzdové soustavy za pístem akčního členu
- C_1 -
- C_2 -
- C_3 -
- C_4 -
- C_5 -
- C_6 -
- } konstanty stavových rovnic akčního zásahu
- D - zesílení derivační složky regulátoru PID
- e - základ přirozených logaritmů 2,71828...
- f_i - funkce momentové rovnováhy na nápravě vozidla
- f_{1i} - upravená funkce momentové rovnováhy na nápravě vozidla
- f_{bv} - funkce translačního zpoždění vozidla
- f_N - obecná časová funkce pro náběh brzdového momentu
- f_v - obecná objemová charakteristika brzdy
- F - hodnota funkce přilnavosti vypočtená lineární interpolací tabulky v nalezené oblasti pro (viz. λ , v)
- F_1 -
- F_2 -
- F_A -
- F_B -
- F_C -
- F_D -
- } hodnoty funkce přilnavosti v krajních bodech nalezené oblasti $\lambda_2 \leq \lambda \leq \lambda_3$ $v_2 \leq v \leq v_3$
- $F(\lambda_i, v_v)$ - funkce přilnavosti pneumatika-vozovka
- g - tíhové zrychlení
- G - váha vozidla
- h - výška těžiště vozidla nad vozovkou v klidovém stavu
- I - zesílení integrační složky regulátoru PID
- I_i - moment setrvačnosti kola
- k - konstanta úměrnosti při lineární a kvadratické objemové charakteristice brzdy (vztah mezi vytlačeným objemem a tlakem v brzdě)
- k_1 - konstanta úměrnosti při lineární závislosti zdvihu hlavního brzdového válce a vytlačeného objemu

- k_2 - konstanta úměrnosti při lineární závislosti zdvihu akčního členu a vytlačeného objemu
- k_3 - konstanta úměrnosti při lineární tlakové charakteristice brzdy (vztah mezi tlakem v brzdě a brzdovým momentem)
- k_{ACK} - konstanta při výpočtu odbrždovacího momentu akčního členu (kvadratická objemová charakteristika brzdy)
- k_{ACL} - konstanta při výpočtu odbrždovacího momentu akčního členu (lineární objemová charakteristika brzdy)
- k_B - koeficient přebrzdění přední nápravy k zadní nápravě
- k_i - konstanty v definicích regulační odchylky při brzdění, konstanty úměrnosti pro tlakovou charakteristiku brzdy
- k_{P_i} - koeficient přebytku síly elektromagnetu akčního členu
- k_y - konstanta tlumení v brzdovém systému
- l - rozvor náprav vozidla
- l_1 - vzdálenost těžiště vozidla od přední nápravy
- l_2 - vzdálenost těžiště vozidla od zadní nápravy
- m - hmotnost vozidla
- m_{AC} - hmotnost pístu akčního členu
- m_n - hmotnost pístové soustavy hlavního brzdového válce
- M - počet rychlostních řezů v tabulce funkce přilnavosti
- M_{ACi} - odbrždění vyvolané akčním zásahem
- M_{Bi} - okamžitý brzdný moment
- $\overline{M_B}$ - střední poměrný brzdový moment v průběhu simulace
- M_{Ni} - okamžitý nášlapový brzdový moment
- ΔM_N - přírůstek nášlapového brzdového momentu v intervalu Δt při číslíkové simulaci (viz. časový krok výpočtu)
- M_{NiMAX} - maximální nášlapový brzdový moment po době náběhu t_B
- M_{Si} - setrvačnickový moment kola
- M_{Ti} - třecí moment na kole
- M_{Vi} - moment odporu valení
- N - počet bodů v řádce tabulky funkce přilnavosti (počet bodů v rychlostním řezu funkce přilnavosti)
- N_M - norma brzdného momentu pro poměrné hodnoty akčního zásahu
- Δp_{AC} - rozdíl tlaku v brzdě vytvořený zásahem akčního členu
- p_B - tlak v kolovém válečku (viz. okamžitý brzdový moment)
- p_{max} - maximální tlak v brzdové soustavě při kvadratické objemové charakteristice brzdy
- p_N - tlak v brzdové soustavě, vzniklý nášlapem brzdového pedálu
- p_i - tlaky v brzdovém systému před akčním zásahem
- p_{i0} - tlaky v brzdovém systému při akčním zásahu
- P - síla elektromagnetu akčního členu, proporcionální zesílení regulátoru PID

- Poi - předpětí vratné pružiny pístu akčního členu
- P_B - síla tuhosti brzdové soustavy
- P_L - tlumicí síla v brzdovém systému
- P_{max} - maximální síla elektromagnetu akčního členu
- P_{Ti} - třecí síla při pohybu pístu akčního členu (pasivní odpor)
- r_{ci} - poloměr valivého odporu kola
- r_{di} - dynamický poloměr kola (poloměr působení třecího momentu)
- RAC_i - regulační rozsah (objemová účinnost) akčního členu
- s - brzdná dráha
- S - pomocná proměnná stavové rovnice akčního zásahu
- ²
S_λ - rozptyl skluzu kola
- ²
S_{MB} - rozptyl poměrného brzdového momentu
- t - čas
- Δt - časový krok výpočtu při simulaci
- t_B - doba náběhu brzdového momentu
- t_i - časová souřadnice inflexního bodu přechodové funkce
- t_R - doba brzdění do odstavení regulátoru
- t_Z - doba brzdění do zastavení vozidla
- T₁ - časová konstanta přechodové funkce soustavy akčního člen
- T₂ - časová konstanta přechodové funkce soustavy akčního člen
- T_d - dopravní zpoždění přechodové funkce soustavy akčního čle
- T_m - doplňková doba přechodu přechodové funkce
- T_n - doba náběhu přechodové funkce
- T_p - doba přechodu přechodové funkce
- T_u - doba průtahu přechodové funkce
- u(t) - výstupní signál z regulátoru PID
(signál pro vybuzení elektromagnetu akčního členu)
- v₀ - počáteční translační rychlost vozidla před nášlapem brzd
- v - okamžitá translační rychlost vozidla - vstup interpolace
- v₂ - } translační rychlost vozidla ve dvou sousedních
- v₃ - } rychlostních řezech tabulky přílnavosti
- v_{Ki} - obvodová rychlost kola
- v_v - translační rychlost vozidla
- v_v - translační rychlost vozidla měřená při brzdění reálného systému
- Δ V₁ - objem brzdové kapaliny vytlačený akčním členem
v mechanickém modelu
- Δ V₂ - objem brzdové kapaliny vytlačený hlavním brzdovým válcem
v mechanickém modelu
- V_{max} - maximální objem vytlačený hlavním brzdovým válcem při
kvadratické objemové charakteristice brzdy

- V_N - objem vytlačený hlavním brzdovým válcem při zvoleném
nášlapovém brzdovém momentu
 V_{AC} - objem vytlačený akčním členem v matematickém modelu
 w - řídící veličina výkonové regulace
 Δx_i - regulační odchylka vypočtená dle zadané definice
 $y(t)$ - přechodová funkce zdvihu akčního členu v matematickém modelu
 y_{AC} - zdvih akčního členu v matematickém modelu
 $y_i(t_i)$ - hodnota přechodové funkce v inflexním bodě
 Y_{ACi} - poměrný zdvih akčního členu

- ε_i - úhlové zrychlení kola
 λ_i - skluz kola, t.j. doplněk podílu obvodové rychlosti kola
k translační rychlosti vozidla
 λ - okamžitá hodnota skluzu - vstup do interpolace
 $\overline{\lambda}$ - střední hodnota skluzu kola v průběhu simulace
 λ_2 - } skluz kola ve dvou sousedních skluzových
 λ_3 - } řezech tabulky přílnavosti
 $\left(\frac{d\overline{\lambda}}{dt}\right)^2$ - střední kvadratická změna skluzu kola
 $\overline{\mu}$ - střední hodnota přílnavosti v průběhu simulace
 μ_i - přílnavost třecí dvojice pneumatika-vozovka jako hodnota
funkce $F(\lambda, v_v)$ pro určité λ a v_v
 ω_i - úhlová rychlost kola

Indexy

- i - index nápravy vozidla, indexy konstant regulační odchylky,
indexy pro tlaky a tuhosti v brzdovém systému před a za
pístem akčního členu, označení souřadnice inflexního bodu
 j - index kroku výpočtu
 k - indexy rychlostních řezů v tabulce funkce přílnavosti
 n - indexy bodů λ v tabulce funkce přílnavosti $F(\lambda, v_v)$

Ú V O D

Při řešení problémů z oblasti ovlivňování vlastností dynamických soustav je neodmyslitelnou etapou ověřování výsledků na modelech. Modelovými zkouškami lze ověřit správnost teoretických předpokladů a závěry pro další postup řešení. Simulační modely umožňují určit optimální parametry pro následnou konstrukci dílů a podsystémů, tj. v podstatě definovat požadované dynamické vlastnosti jednotlivých konstrukčních bloků a celků. Lze tak předem vyloučit taková konstrukční řešení, která nesplňují požadované dynamické vlastnosti.

Simulační modely jsou tedy efektivním nástrojem pro racionalizaci výzkumně vývojové a konstrukční práce, umožňují bezrizikové ověřování vlastností dynamických systémů a přinášejí významné ekonomické efekty v procesu výzkum-vývoj-konstrukce-výroba-užití.

Regulace brzdných sil je rozsáhlý soubor dílčích vývojových úkolů, zejména z oblasti konstrukční. Tyto úkoly mezi sebou vzájemně úzce souvisí prostřednictvím požadovaných dynamických vlastností, ověřovaných simulací na počítači.

Předkládaná práce se zabývá dílčí částí úkolu "Problematika protiblokovacího brzdového systému silničních motorových vozidel", řešeného v n.p. Autobrzdy Jablonec v rámci oborového úkolu č. 02 288.

Východním teoretickým materiálem pro sestavení simulačního modelu jsou výzkumné zprávy vedoucího úkolu Ing. Barbory /1/, /2/, /3/, /4/, vycházející z původních zahraničních prací /5/, /6/, /7/, /8/ a dalších. Hlavními souvisejícími dílčími úkoly byly návrh a konstrukce snímačů dynamických veličin v procesu brzdění, vývoj a konstrukce akčních členů ovládajících brzdnou sílu /9/, /10/, vývoj elektronické části /11/, /12/, laboratorní a jízdní zkoušky vozidel osazených regulátorem brzdné síly /13/, /14/, /15/, /16/.

a) Přehled o současném stavu řešení problematiky, která je předmětem disertace a odborné literatury, jež se zabývá zkoumanými otázkami

Výzkum a vývoj systémů pro regulované brzdění motorových vozidel zaznamenal bouřlivý rozvoj v druhé polovině 60.let a v první polovině 70.let souběžně s rozvojem polovodičové elektroniky schopné pracovat v podmínkách provozu motorového vozidla. Intenzivní práce probíhají především v USA, vyspělých státech Evropy a Japonsku. Výzkum protiblokovacích systémů probíhá v obrovské konkurenci řešitelů, s vysokými finančními dotacemi a podporovaný vyspělou výpočetní technikou a elektronickou součástkovou základnou.

Publikování výsledků prací se však soustřeďuje víceméně na propagaci a popis funkce zařízení, ale skutečné teoretické a praktické zkušenosti dříve získané miliónovými výdaji se vyskytují velmi zřídka.

V ČSSR se začíná řešit problematika protiblokovacího systému ve druhé polovině 60. let ve VUT Brno, katedře motorových vozidel a v ÚVMV Praha. Ve VUT Brno šlo o pokus aplikovat elektroniku na systém s jednou hladinou úhlového zpoždění a použitím přímočinného akčního členu /17/, /18/. K experimentálnímu ověření na vozidle však nedošlo. Rovněž počítačová simulace nebyla použita. Ve VÚMV Praha byla zpočátku řešena mechanická soustava se setrvačником, pracujícím jako snímací i akční člen /19/, /20/. Ověřování na vozidle bylo prováděno v roce 1971. V dalších letech pak bylo při řešení použito počítačové simulace na analogovém počítači a experimentováno s elektronickou řídicí jednotkou.

V n.p. Autobrzdy Jablonec n.N. byly zahájeny práce na vývoji regulovaného brzdového systému v roce 1969. Cílem byl návrh systému, umožňujícího ověření základních algoritmů s využitím elektronického řídicího systému. Mezi pracovišti n.p. Autobrzdy a ÚVMV se rozvíjí jistá "konkurence" v řešení problému, která svým způsobem nahrazovala nedostatek kontaktu se zahraničními řešiteli. Rozsáhlá výměna názorů probíhala v otázce použitého algoritmu řízení, včetně společného porovnávacího experimentálního ověřování. Nadřízený orgán však tento stav považoval za dvoukolejnost a jeden z důvodů k pozdějšímu zastavení dalších vývojových prací.

Časové horizonty řešení úkolu lze zhruba shrnout do dvou etap :

1) Výzkum 1970-1973 charakterizuje

- studie stavu techniky,
- teoretické rozbory dynamiky brzděného kola,
- hledání formulace regulované veličiny,
- specifikování požadavků na vlastnosti regulátorů,
- sestavení simulačního modelu na počítači,
- ověření teoretických úvah na simulačním modelu,
- provedení laboratorních a jízdních zkoušek.

2) Vývoj 1974-1980 charakterizuje

- návrh prototypu
- výrobu a zabudování do dalších vozidel
- průběžné ověřování konstrukčních změn na simulačním modelu
- provedení zkoušek
- zhodnocení výsledků

Od roku 1975 se již prakticky na zdokonalování systému přestalo pracovat, dokončila se výroba prototypů v omezeném rozsahu, uskutečnilo se osazení na autobus, tahač-návěs a vozidlo VAZ 1500.

Původní záměr osadit 20 vozidel nebyl realizován. Zkušenosti se podařilo uplatnit při aplikaci regulátoru na letadlo, kde pravděpodobně dojde v blízké době k praktické realizaci. Poslední zkoušky algoritmu řízení na simulačním modelu pro letadlo byly provedeny v roce 1983.

Předložená práce se zabývá popisem a sestavením simulačního počítačového modelu, který byl průběžně využíván při ověřování algoritmů řízení a upřesňování požadavků na konstrukci dílčích celků systému. Odkazy na odbornou literaturu jsou uváděny průběžně v textu.

b) Cíl disertace

Jak již bylo naznačeno v úvodu a předcházejících odstavcích, hlavním cílem předložené práce bylo poskytnout řešitelům účinný nástroj pro efektivní ověřování teoretických závěrů při řešení složité problematiky.

Cílem jednotlivých kapitol disertace je podrobný popis všech bloků simulačního modelu a diskuse možných variant řešení, v praktické části je uveden způsob provozního využívání modelu a předloženy některé výsledky ze simulace.

Cílem první kapitoly je stanovení výchozích předpokladů pro návrh modelu, seznámení s mechanickým a matematickým modelem vozidla, popis metody výpočtu při simulaci brzdného procesu a ukázka blokového schématu simulačního obvodu.

Druhá kapitola se zabývá modelem akčního členu, tj. systémem ovlivňujícím brzdnou sílu na základě povelů z elektronické řídicí jednotky.

Třetí kapitola popisuje způsob naběhu brzdného momentu a vztahy mezi vytlačeným objemem a tlakem v brzdě.

Kapitola čtvrtá je věnována popisu jednotlivých typů skluzových charakteristik třecí dvojice pneumatika-vozovka a způsobu výpočtu aktuální hodnoty součinitele příslavnosti v průběhu simulace.

V kapitolách 5, 6, 7 jsou uvedeny matematické definice regulačních odchylek, vytypovaných a ověřovaných na základě teoretických úvah. Dále je popsán model regulátoru PID a kritéria pro posouzení kvality různých brzdných režimů.

Kapitola 8 zachycuje časový vývoj simulačního modelu, vysvětluje problémy řešení a důvody zvolených metod výpočtu.

Poslední devátá kapitola je věnována řešení praktických otázek provozního využívání simulačního modelu, zadávání vstupních dat, popisu výsledků a sestav.

V přílohách jsou uvedeny vzory vstupních dat, výstupních tabulek a grafů, výpis podprogramů pro jednotlivé definice regulačních

odchylek a výpis programu v autokódu MAT pro počítač MINSK 22.

Práce neobsahuje celkové hodnocení úkolu ani závěry pro další postup. Tyto jsou součástí zprávy hlavního řešitele.

c) Zvolené metody zpracování

Požadavky kladené na simulační model lze stručně shrnout do několika bodů:

- využít dostupné výpočetní techniky (analogové, hybridní, číslicové) tak, aby praktická realizace modelu mohla být sladěna s termíny řešení nadřazeného úkolu
- vzhledem k vývojovému charakteru úkolu umožnit snadnou změnu struktury dílčích bloků systému (akční člen, regulátor, brzdny moment)
- snadná změna definice regulační odchylky
- operativnost při změně parametrů vozidla, konstant regulace, skluzových charakteristik, apod.
- přijatelná reálná doba výpočtu
- opakovatelnost výpočtů a možnost porovnávání průběhů vybraných brzdnych režimů.

Po počátečních pokusech a modelování na analogovém počítači, později na hybridním systému, se podařilo uvedené požadavky splnit v konečné podobě matematickým modelem na číslicovém počítači MINSK 22 v autokódu MAT-4. Podrobněji viz kapitola 8.0.

Výchozí soustava nelineárních diferenciálních pohybových rovnic je řešena trojnásobnou iterací s hledáním kořenů modifikovanou metodou regula falsi. Diferenciální rovnice akčních členů byly řešeny metodou postupných kroků z předcházejících stavových hodnot. Pro diferenciální a integrační výpočty bylo použito jednoduché lichoběžníkové metody, která se pro daný účel ukázala jako dostačující.

1.0. SIMULAČNÍ MODEL VOZIDLA

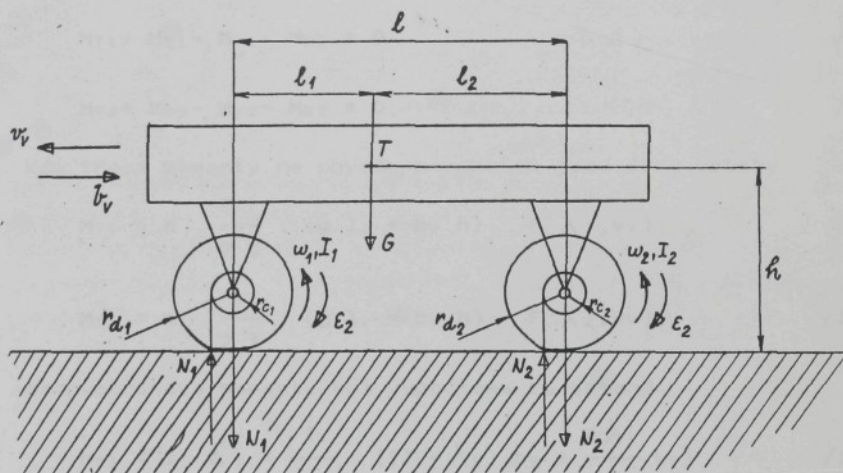
1.1. Výchozí předpoklady pro návrh modelu

Model řeší rovinný případ brzdění dvounápravového vozidla s regulátorem brzdné síly. Pro simulaci uvedeného systému byly navrženy tyto zjednodušující předpoklady :

- 1) Mechanický systém dvounápravového vozidla je řešen jako tříhmotová rovinná soustava se třemi stupni volnosti b_v , λ_1 , λ_2 , viz obr. 1.1.
- 2) Brzdění probíhá za přímočarého pohybu vozidla z ustáleného volnoběžného stavu na zvolené rychlosti (nejsou uvažovány boční síly, skluz kola je vypočten z rovnováhy momentových rovnic přední a zadní nápravy)
- 3) Nápravy nejsou vzhledem k rámu vozidla odpruženy a rovněž pneumatiky jsou dokonale tuhé. Především je zanedbáno zpoždění podélného klopného momentu; změny normálních sil vozovka-kolo je však možno považovat za změny ve skluzové charakteristice $F(\lambda, v_v)$, a proto se zanedbání změn těchto sil prakticky neprojeví. Skluzové charakteristiky se obecně uplatňují jako významný stabilizační prvek celého simulačního modelu.
- 4) Skluzové charakteristiky $F(\lambda, v_v)$ jsou uloženy v paměti počítače ve formě tabulky a průběžná hodnota přílnavosti $\mu = F(\lambda, v_v)$ se pro určité λ a v_v vypočítává lineární interpolací.
- 5) Při výpočtu brzdného momentu se předpokládá lineární závislost objemových a tlakových charakteristik brzdy :
 - a) vytlačený objem - tlak (objemy vytlačené brzdovým válcem a akčním členem)
 - b) tlak - brzdový moment
 - c) hystereze charakteristiky objem - tlak je nulová (zabrzdnění a odbrzdění probíhá po stejné křivce)Tyto závislosti je však možno podle potřeby snadno změnit úpravou příslušného podprogramu. V blokovém schématu simulačního obvodu viz. obr.1.2. jsou tyto bloky nakresleny čárkovaně.

1.2. Mechanický model vozidla

Základní mechanický model vozidla bez brzdové soustavy je na obr.1.1.,



Obr. 1.1. Mechanický model vozidla

kde pro dynamické a kinematické veličiny platí :

$$l_2 = l - l_1 \quad /1.1/$$

$$v_v = v_0 - \int_0^t b_v dt \quad /1.2/$$

$$\omega = \frac{v_v (1 - \lambda)}{r_d} \quad /1.3/$$

$$\lambda = \frac{v_v - r_d \omega}{v_v}, \quad 0 \leq \lambda \leq 1 \quad /1.4/$$

$$\varepsilon = \frac{1}{r_d} \left[(1 - \lambda) b_v + \frac{d\lambda}{dt} v_v \right] \quad /1.5/$$

$$b_v \doteq g \frac{l_2 F(\lambda_1, v_v) + l_1 F(\lambda_2, v_v)}{1 - h [F(\lambda_1, v_v) - F(\lambda_2, v_v)]} \quad /1.6/$$

1.3. Základní matematický model vozidla

Podstatou modelu je rovnováha dvou momentových rovnic /1.7/, /1.8/, doplněných soustavou nelineárních algebraických a diferenciálních pohybových rovnic, vycházejících ze zprávy /2/ a požadavků /4/.

Pro rovnováhu momentů na kolech přední a zadní nápravy platí :

$$M_{T1} + M_{S1} - M_{V1} - M_{B1} = 0 \quad /1.7/$$

$$M_{T2} + M_{S2} - M_{V2} - M_{B2} = 0, \quad /1.8/$$

kde třecí momenty na obvodu pneumatik jsou dány vztahy

$$M_{T1} = m \frac{r_{d1}}{2 l} (g l_2 + b_v h) F(\lambda_1, v_v) \quad /1.9/$$

$$M_{T2} = m \frac{r_{d2}}{2 l} (g l_1 - b_v h) F(\lambda_2, v_v), \quad /1.10/$$

setrvačnickové momenty kol vypočteme ze vztahů

$$M_{S1} = I_1 \dot{\epsilon}_1 = \frac{I_1}{r_{d1}} \left[(1 - \lambda_1) b_v + \frac{d\lambda_1}{dt} v_v \right] \quad /1.11/$$

$$M_{S2} = I_2 \dot{\epsilon}_2 = \frac{I_2}{r_{d2}} \left[(1 - \lambda_2) b_v + \frac{d\lambda_2}{dt} v_v \right], \quad /1.12/$$

momenty odporu valení jsou dány vztahy

$$M_{V1} = m \frac{r_{c1}}{2 l} (g l_2 + b_v h) \quad /1.13/$$

$$M_{V2} = m \frac{r_{c2}}{2 l} (g l_1 - b_v h), \quad /1.14/$$

brzdové momenty na kolech jsou definovány jako

$$M_{B1} = M_{N1} - M_{AC1} \geq 0 \quad /1.15/$$

$$M_{B2} = M_{N2} - M_{AC2} \geq 0 \quad /1.16/$$

nášlapové brzdové momenty

$$M_{N1} = M_{N1MAX} \frac{t}{t_B}, \quad \text{pro } t < t_B \quad /1.17/$$

$$M_{N1} = M_{N1MAX} \quad \text{pro } t \geq t_B \quad /1.18/$$

$$M_{N2} = M_{N1} \frac{1}{k_B} \quad /1.19/$$

odbrždění akčním členem

$$M_{AC1} = R_{AC1} N M Y_{AC1} \quad /1.20/$$

$$M_{AC2} = R_{AC2} N M Y_{AC2} \quad /1.21/$$

Soustava rovnic /1.1/ až /1.21/ tvoří základní matematický model vozidla. Model akčního členu a jeho působení na brzdovou soustavu, způsoby brzdění a jeho řízení, výpočet regulační odchylky a kritéria kvality regulace jsou uvedeny v dalších kapitolách.

1.4. Metoda výpočtu při simulaci

Základním problémem předloženého matematického modelu je nalezení vhodné strategie pro řešení soustavy dvou nelineárních diferenciálních momentových rovnic 1.řádu, vzniklých dosazením odpovídajících vztahů za momenty do rovnic /1.7/, /1.8/. Obecně lze vzniklou soustavu rovnic zapsat ve tvaru :

$$f_1(\lambda_1, \frac{d\lambda_1}{dt}, \lambda_2) = 0 \quad /1.22/$$

$$f_2(\lambda_1, \lambda_2, \frac{d\lambda_2}{dt}) = 0 \quad /1.23/$$

Pro výpočet na počítači lze rovnice upravit na

$$f_{11}(\lambda_1, \frac{d\lambda_1}{dt}, b_v) = 0 \quad /1.24/$$

$$f_{12}(\lambda_2, \frac{d\lambda_2}{dt}, b_v) = 0 \quad /1.25/$$

kde

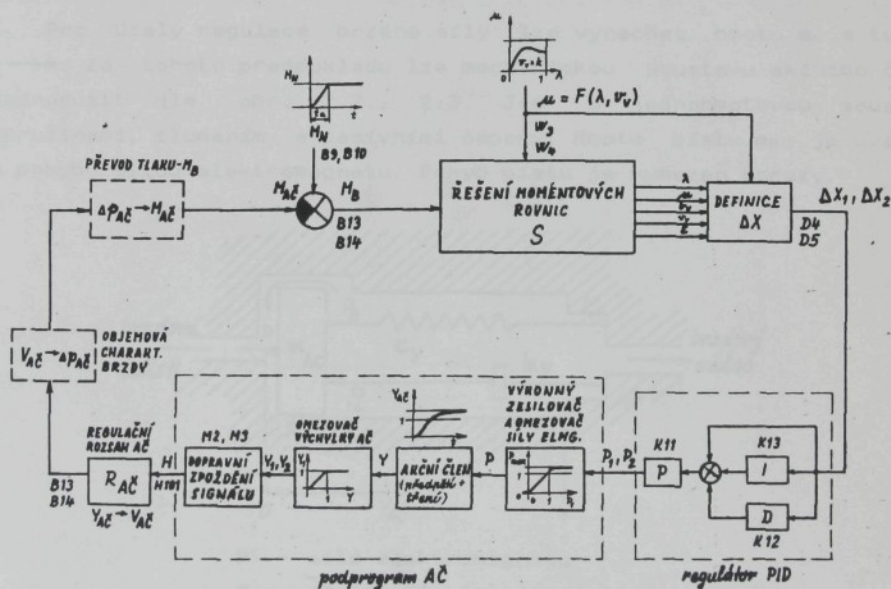
$$b_v = f_{bv}[F(\lambda_1, v_v), F(\lambda_2, v_v)] \quad /1.26/$$

Jednotlivé rychlostní řezy funkcí přílnavosti $F(\lambda, v_v)$ mohou mít jeden z charakteristických průběhů, viz obr. 4.1., přičemž při změnách rychlosti mohou tvary funkce přecházet z jednoho tvaru na druhý. Pro řešení soustavy momentových rovnic /1.24/, /1.25/ nelze provést linearizaci v celém rozsahu λ nebo jednoznačně využít vlastností : rostoucí, klesající, nerostoucí, neklesající. Aproximace matematickou funkcí by nepřinesla žádné podstatné výhody. Skluzové charakteristiky $F(\lambda, v_v)$ jsou pro zvolený typ vozovky vkládány do počítače formou tabulky. Podrobněji viz kapitola 4.1.

Soustava momentových rovnic /1.24/, /1.25/ byla řešena iterací po předchozím odhadu b_v . Pro výpočet kořenů λ_1, λ_2 byla použita modifikovaná metoda sečen (s progresivním krokem). Následoval zpřesněný výpočet b_v z vypočtených λ_1, λ_2 , který se porovnal s odhadem. Při nesouhlasu odhadu s výpočtem byla za nový odhad dosazena vypočtená hodnota b_v a znovu se řešily rovnice /1.24/, /1.25/. Tento cyklus se opakoval tak dlouho, dokud nebylo dosaženo požadované přesnosti odhadu b_v s následným výpočtem. Celý výpočetní cyklus je vlastně trojnásobná iterace. Experimentálně bylo ověřeno, že postačující absolutní přesnost při iteraci λ je 10^{-4} a při iteraci b_v vyhovuje 10^{-3} .

1.5. Blokové schéma simulačního obvodu

Přehledné schéma simulačního obvodu je na obr. 1.2. Jednotlivé bloky jsou podrobněji řešeny v následujících kapitolách. Při simulaci je sledováno celkem 18 fyzikálních veličin vozidla : $b_v, v_v, M_{B1}, M_{B2}, \omega_1, \omega_2, \epsilon_1, \epsilon_2, \lambda_1, \lambda_2, F(\lambda_1, v_v), F(\lambda_2, v_v), \Delta x_1, \Delta x_2, u_1, u_2, Y_{AC1}, Y_{AC2}$. Časové průběhy těchto veličin jsou ukládány do souboru na magnetické pásce.

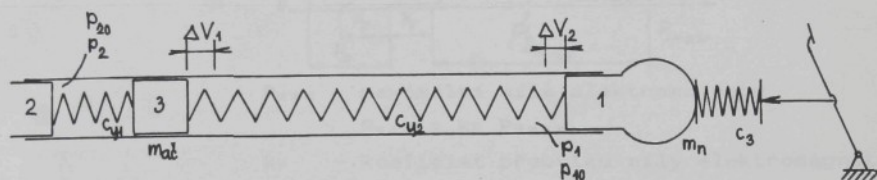


Obr. 1.2. Blokové schéma simulačního obvodu

2.0. AKČNÍ ČLEN V SYSTÉMU BRZDY

2.1. Mechanický model akčního členu

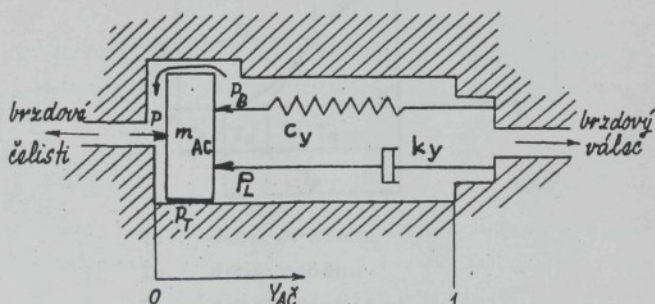
Problematika akčního členu, umožňujícího řízené odbrzdování kol byla řešena samostatným výzkumným a vývojovým úkolem, viz. /9/, /10/. Výchozí mechanický model brzdového systému s akčním členem je uveden na obr. 2.1.



- 1 - píst hlavního válce
- 2 - píst kolového válce nebo třmenu
- 3 - píst akčního členu
- c_{y1} - tuhost brzdové soustavy před a za pístem akčního členu

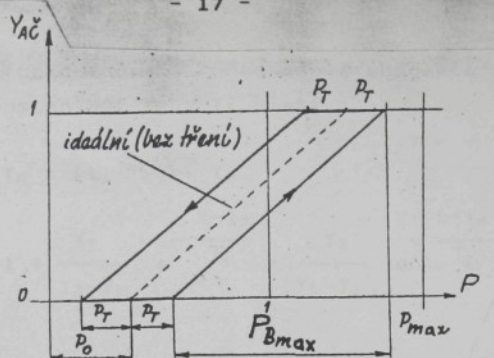
Obr. 2.1. Výchozí mechanický model brzdového systému s akčním členem

Pro účely regulace brzdné síly lze vynechat hmotu m_n a tuhost $c_3 \rightarrow \infty$. Za tohoto předpokladu lze mechanickou soustavu akčního členu zjednodušit dle obr. 2.2., 2.3. Jde o jednodílnou soustavu s pružinami, tlumením a pasívními odpory. Hmotu pístu m_{ac} je uváděna do pohybu silou elektromagnetu. Pohyb pístu je omezen dorazy.



- P - síla elektromagnetu
- P_T - třecí síla (pasívní odpory)
- P_B - síla tuhosti brzdové soustavy
- P_L - tlumící síla v brzdové soustavě

Obr. 2.2. Zjednodušený mechanický model akčního členu



P_{max} - maximální síla elektromagnetu

$$P_{max} = k_P P_{Bmax}$$

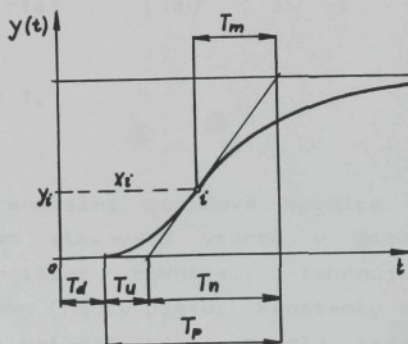
k_P - koeficient přebytku síly elektromagnetu

P_0 - předpětí vratné pružiny pístu akčního členu

Obr. 2.3. Statická charakterika závislosti zdvihu pístu akčního členu na síle elektromagnetu

2.2. Matematický model akčního členu

Model je řešen jako dynamická soustava 2.řádu, nekmitající, s časovými konstantami $T_1 \neq T_2$, rozdílnými pro oba směry pohybu pístu, s pasívními odpory (třením, apod.), předpětím pružiny a dopravním zpožděním. Přechodová charakteristika takovéto soustavy je znázorněna na obr. 2.4.



T_u - doba průtahu

T_n - doba náběhu

T_p - doba přechodu

T_m - doplňková doba přechodu

T_d - dopravní zpoždění

t_i, y_i - souřadnice inflexního bodu

Obr. 2.4. Přechodová charakteristika dynamické soustavy 2.řádu, nekmitající, s dopravním zpožděním

Pro časové a funkční úseky přechodové charakteristiky 2. řádu s různými časovými konstantami $T_2 > T_1$ platí :

$$T_P = T_u + T_n = (t_i - T_d) + T_m \quad /2.1/$$

$$y(t - T_d) = 1 + \frac{T_1}{T_2 - T_1} e^{-\frac{t - T_d}{T_1}} - \frac{T_2}{T_2 - T_1} e^{-\frac{t - T_d}{T_2}} \quad /2.2/$$

$$t_i - T_d = - \frac{T_2 T_1}{T_2 - T_1} \ln \frac{T_1}{T_2} \quad /2.3/$$

$$y(t_i - T_d) = 1 + \frac{T_1}{T_2 - T_1} \frac{T_1}{T_2} - \frac{T_2}{T_2 - T_1} \frac{T_1}{T_2} \quad /2.4/$$

$$T_P = (t_i - T_d) + \frac{1 - y(t_i - T_d)}{\dot{y}(t_i - T_d)} = T_1 + T_2 - \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{T_1}{T_2} \quad /2.5/$$

$$T_n = \frac{1}{\dot{y}(t_i - T_d)} = T_1 \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{-\frac{T_2}{T_2 - T_1}} \quad /2.6/$$

$$T_m = T_2 + T_1 \quad /2.7/$$

Řešení diferenciální pohybové rovnice pístu akčního členu je nahrazeno výpočtem stavových vzorců v diskretních bodech. Místo konstant diferenciální rovnice, zahrnujících reálné hodnoty mechanického systému (hmoty pístu, konstanty tlumení, tuhosti pružin, apod.), jsou do matematického modelu zadávány časové konstanty přechodové funkce soustavy (převrácené hodnoty z absolutních hodnot kořenů charakteristické rovnice). Časové konstanty přechodové funkce se snadno zjistí z přenosových vlastností soustavy, nejlépe ze změřené přechodové charakteristiky, viz. rovnice /2.1/ až /2.7/.

Pro poměrné bezrozměrné veličiny platí stavové rovnice :

$$Y_{AC}(j) = C_1 S + C_2 Y_{AC}(j-1) + C_3 \dot{Y}_{AC}(j-1) \quad /2.8/$$

$$\dot{Y}_{AC}(j) = C_4 S + C_5 Y_{AC}(j-1) + C_6 \dot{Y}_{AC}(j-1) \quad /2.9/$$

kde

$$S = P(j-1) - P_0 - \text{sign } \dot{Y}_{AC}(j-1) P_T \quad /2.10/$$

$$C_1 = 1 - C_2 \quad /2.11/$$

$$C_2 = \frac{T_2}{T_2 - T_1} e^{-\frac{\Delta t}{T_2}} - \frac{T_1}{T_2 - T_1} e^{-\frac{\Delta t}{T_1}} \quad /2.12/$$

$$C_3 = T_1 T_2 C_4 \quad /2.13/$$

$$C_4 = \frac{1}{T_2 - T_1} \left(e^{-\frac{\Delta t}{T_2}} - e^{-\frac{\Delta t}{T_1}} \right) \quad /2.14/$$

$$C_5 = - C_4 \quad /2.15/$$

$$C_6 = \frac{T_2}{T_2 - T_1} e^{-\frac{\Delta t}{T_1}} - \frac{T_1}{T_2 - T_1} e^{-\frac{\Delta t}{T_2}} \quad /2.16/$$

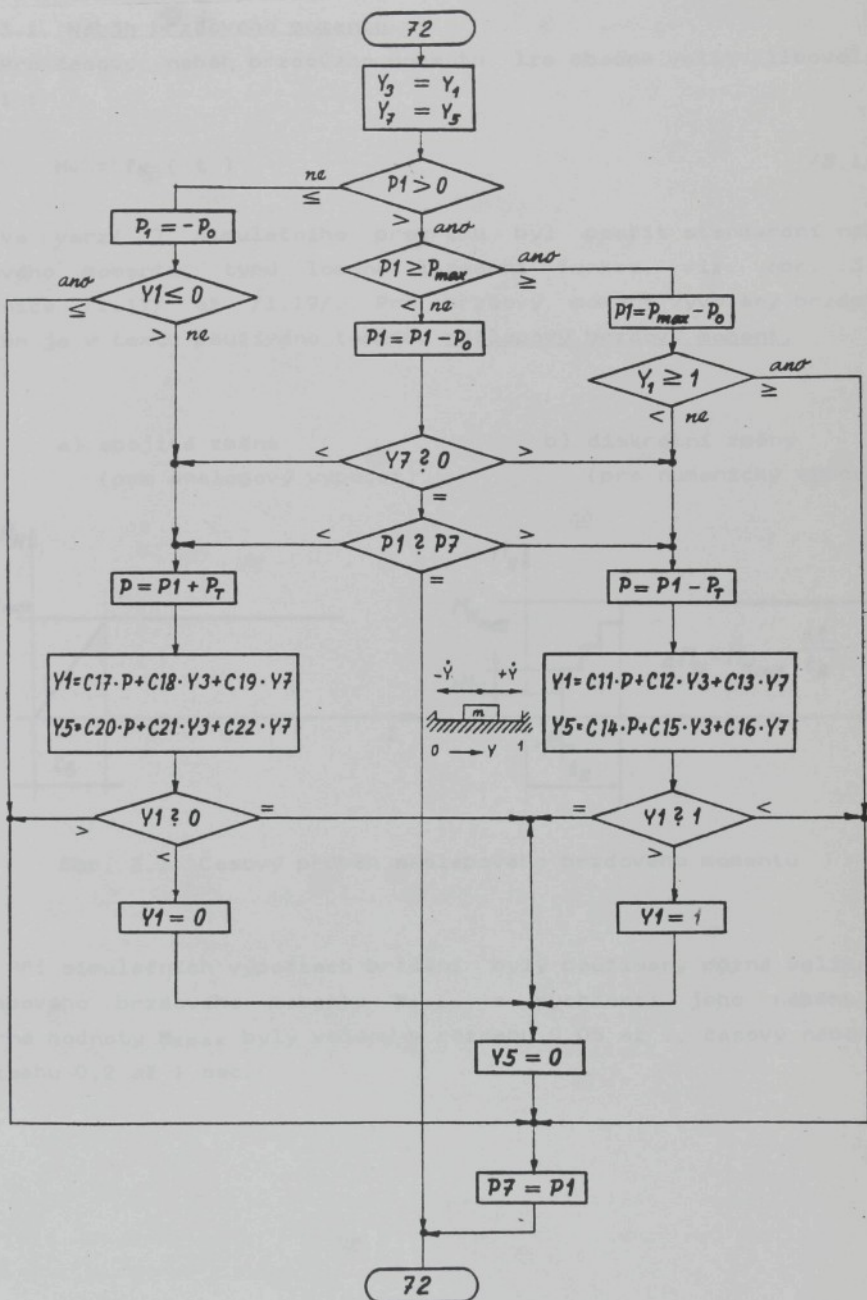
Dopravní zpoždění soustavy akční člen - brzda je v simulačním programu realizováno diskretním časovým posuvem výstupního signálu z akčního členu.

Regulační rozsah akčního členu (objemová účinnost) určuje poměr objemu vytlačeného akčním členem při plném zdvihu, k objemu vytlačenému brzdovým válcem při dosažení maximálního provozního tlaku.

Regulační rozsahy akčních členů, dopravní zpoždění a časové konstanty přechodových charakteristik jsou součástí vstupních dat simulačního výpočtu.

2.3. Blokové schema výpočtu akčního zásahu

Příklad simulačního výpočtu zásahu akčního členu je uveden v blokovém schematu na obr. 2.5. Ve verzi 7 simulačního programu je výpočet zařazen jako podprogram 72. Výpočet konstant /2.11/ až /2.16/ pro stavové vzorce /2.8/, /2.9/ je v podprogramu 71. Výpočet je prováděn v poměrných hodnotách. Použité symboly jsou shodné s programem (akční člen přední nápravy).



Obr. 2.5. Blokové schéma výpočtu zásahu akčního členu
(akční člen přední nápravy)

3.0. BRZDOVÝ MOMENT

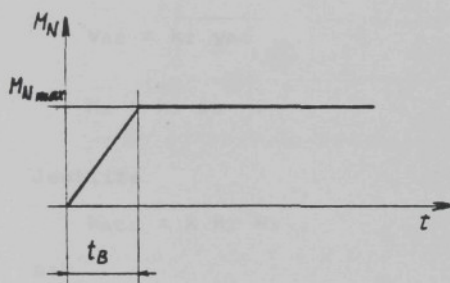
3.1. Náběh brzdového momentu

Pro časový náběh brzdového momentu lze obecně volit libovolnou funkcí :

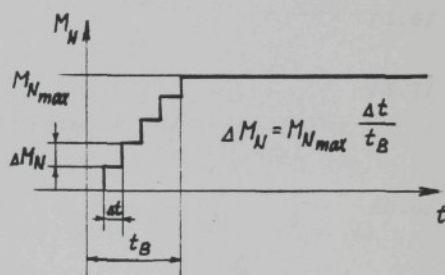
$$M_N = f_N (t) \quad /3.1/$$

Ve verzi 7 simulačního programu byl použit standardní náběh brzdového momentu, typu lomené lineární funkce, viz. obr. 3.1. a rovnice /1.17/ až /1.19/. Pro brzdový moment vyvozený brzdovým pedálem je v textu používáno termínu nášlapový brzdový moment.

a) spojitá změna
(pro analogový výpočet)



b) diskrétní změny
(pro numerický výpočet)



Obr. 3.1. Časový průběh nášlapového brzdového momentu

Při simulačních výpočtech brzdění byly používány různé velikosti nášlapového brzdového momentu M_{Nmax} a rychlosti jeho náběhu t_B . Poměrné hodnoty M_{Nmax} byly voleny v rozsahu 0.05 až 1, časový náběh t_B v rozsahu 0,2 až 1 sec.

3.2. Odbřžďování akčnřm řlenem

Platř-lř bod 5 vřchozřch řředpokladř pro nřvřh simulačnřho modelu, t.j. lineřrnř zřvislost objemovřch a tlakovřch charakteristik brzdy, pak při vřpořtu odbřřďovřnř akčnřm řlenem nezmřleží na velikosti nřřřlapovřho brzdovřho momentu, z kterřho se zřchřnř odbřřďovat. Pro fyzikřlnř veličiny v brzdovř soustavě a okamžitř brzdovř moment na kole pak platř :

$$k = \frac{p_{max}}{V_{max}} \quad /3.2/$$

$$p_N = k V_N \quad /3.3/$$

$$V_N = k_1 y_N \quad /3.4/$$

$$p_{AC} = k V_{AC} \quad /3.5/$$

$$V_{AC} = k_2 y_{AC} \quad /3.6/$$

$$M_B = k_3 p_B \quad /3.7/$$

Jestliže

$$k_{ACL} = k k_2 k_3 , \quad /3.8/$$

pak

$$M_{AC} = k_{ACL} y_{AC} \quad /3.9/$$

a okamžitř brzdny moment na kole je dřen vztahem

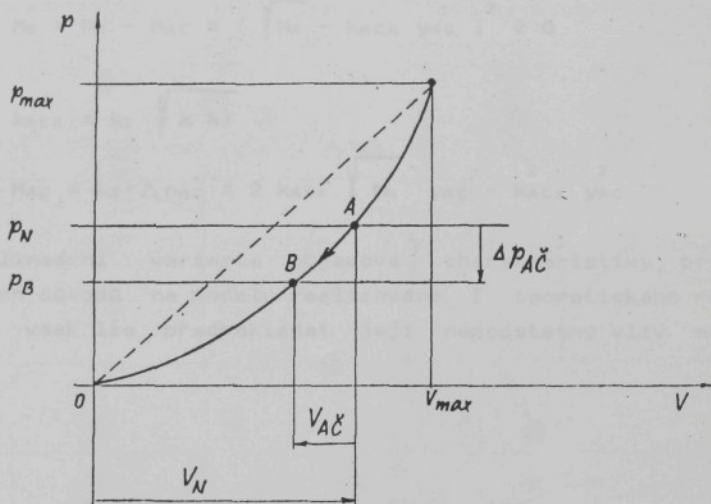
$$M_B = M_N - M_{AC} = M_N - k_{ACL} \cdot y_{AC} \quad /3.10/$$

Nenř-lř objemovř charakteristika brzdy lineřrnř, t.j. mezi vytlačenřm objemem a vzniklřm tlakem v brzdě platř nelineřrnř vztah, např. :

$$p = f_v (V) , \quad /3.11/$$

je vřpořet odbřřďovřnř akčnřm řlenem složitějšř, neboř velikost odbřřďenř zřvisř kromě zdvřhu přstu akčnřho řlenu těž na vřchozřm nřřřlapovřm brzdovřm momentu.

Příklad výpočtu velikosti odbrzdění pro kvadratickou objemovou charakteristiku brzdy lze sledovat na obr. 3.2. Odbrzdění probíhá z bodu A do bodu B.



Obr. 3.2. Příklad kvadratické objemové charakteristiky brzdy

Platí :

$$p_N = f_V (V_N) = k V_N^2 \quad /3.12/$$

$$V_N = \sqrt{\frac{p_N}{k}} \quad /3.13/$$

$$k = \frac{p_{max}}{V_{max}^2} \quad /3.14/$$

$$p_B = p_N - \Delta p_{AC} = f_V (V_N - V_{AC}) = k (V_N - V_{AC})^2 \quad /3.15/$$

po dosazení za V_N z /3.13/ dostaneme

$$p_B = \left(\sqrt{p_N} - V_{AC} \sqrt{k} \right)^2, \quad p_B \geq 0 \quad /3.16/$$

a tedy s pomocí /3.12/, /3.16/

$$\Delta p_{AC} = p_N - p_B = 2 V_{AC} \sqrt{k p_N} - k V_{AC}^2 \quad /3.17/$$

Za předpokladu, že tlaková charakteristika brzdy je lineární, viz bod 5b v kapitole 1.1., tj. platí vztahy /3.4/, /3.6/, /3.7/, můžeme okamžitý brzdový moment vyjádřit jako :

$$M_B = M_N - M_{AC} = (\sqrt{M_N} - K_{ACK} y_{AC})^2 \geq 0 \quad /3.18/$$

kde

$$K_{ACK} = k_2 \sqrt{k k_3} \quad /3.19/$$

$$M_{AC} = k_3 \cdot \Delta p_{AC} = 2 K_{ACK} \sqrt{M_N} y_{AC} - K_{ACK}^2 y_{AC}^2 \quad /3.20/$$

Nelineární varianta objemové charakteristiky brzdy nebyla z časových důvodů na modelu realizována. Z teoretického rozboru této varianty však lze předpokládat její nepodstatný vliv na simulační proces.



Obr. 4.1. Příklad objemové charakteristiky (vlevo)

Všechny případy je patrné, že charakteristika brzdového momentu je lineární funkcí $F(A, v)$ v celém rozsahu A a v a tedy i charakteristika brzdového momentu je lineární funkcí $F(A, v)$ v celém rozsahu A a v .

4.1. Model objemové charakteristiky brzdy

Objemová charakteristika $F(A, v)$ vychází z výpočtu rychlosti v a tlaku p v brzdě. Je patrné, že charakteristika brzdového momentu je lineární funkcí $F(A, v)$ v celém rozsahu A a v .

Typ 1 - rychlost brzdění je lineární funkcí tlaku p .

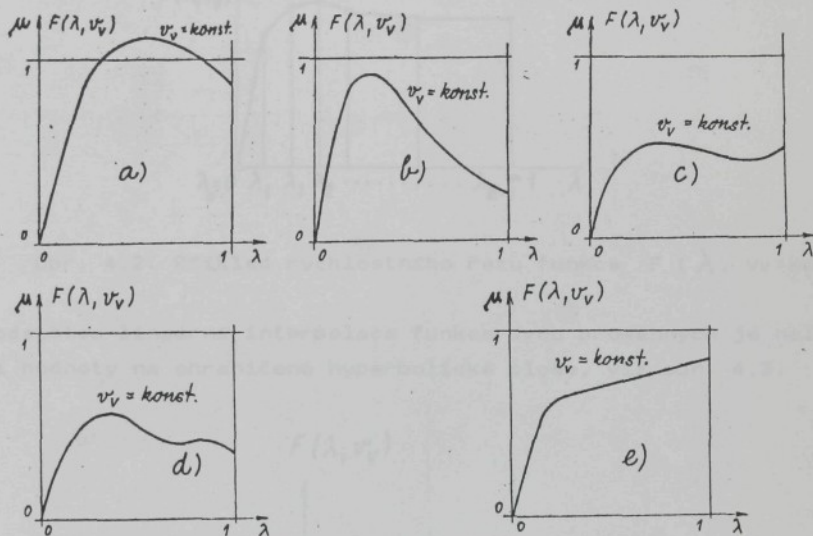
Typ 2 - brzdový moment je lineární funkcí tlaku p .

Typ 3 - brzdový moment je lineární funkcí rychlosti v .

Typ 4 - rychlost brzdění je lineární funkcí tlaku p .

4.0. SKLUZOVÉ CHARAKTERISTIKY TŘECÍ DVOJICE PNEUMATIKA-VOZOVKA

Skluzové charakteristiky $F(\lambda, v_v)$ jsou významnou částí simulačního modelu. Mohou podstatně ovlivnit celý brzdný proces (vozovka suchá, mokrá, náledí, písek, apod). Rychlostní řezy funkce $F(\lambda, v_v = \text{konst.})$, mohou mít jeden z tvarů, viz. obr. 4.1. Při změnách rychlosti mohou jednotlivé řezy přecházet z jednoho tvaru na druhý.



Obr. 4.1. Příklady skluzových charakteristik ($v_v = \text{konst.}$)

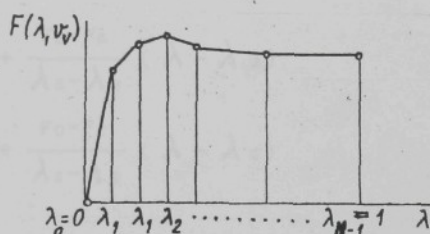
Ve všech případech je patrný počáteční prudký nárůst přilnavosti. Linearizaci funkce $F(\lambda, v_v)$ v celém rozsahu λ nelze z důvodů velkého zkreslení charakteru funkce využít. V úvahu přichází aproximace matematickou funkcí nebo tabulka. V simulačním modelu byla použita druhá možnost.

4.1. Výpočet přilnavosti v průběhu simulace

Skluzové charakteristiky $F(\lambda, v_v)$ vycházejí z výzkumné zprávy /6/ a jsou do počítače zadávány formou tabulky. Při simulaci byly používány 4 typy skluzových charakteristik (třecích dvojic pneumatika-vozovka) pro diagonální pneumatiku běžné seriové výroby, viz. příloha A :

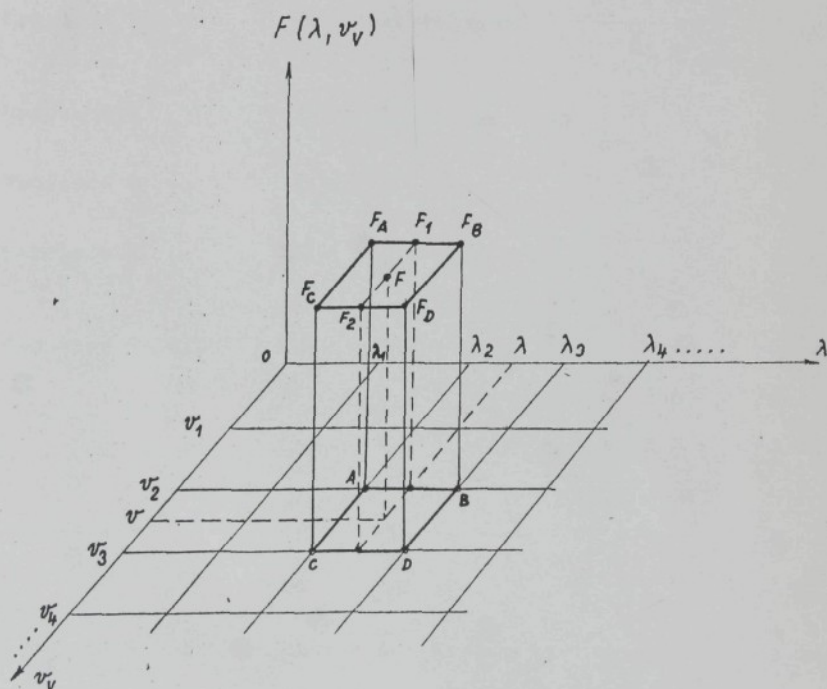
- typ 1 - suchý asfaltový beton s jemnou kamennou drtí
- typ 2 - mokrá měkký asfalt, vrstva vody 1 mm
- typ 3 - hladké náledí -40°C
- typ 4 - suchý sypký stěrk střední zrnitosti .

V průběhu simulace se hodnota přílnavosti $\mu = F(\lambda, v_v)$ pro určité λ a v_v vypočítává lineární interpolací z tabulky. Hodnoty přílnavosti jsou uloženy po řádcích pro $v_v = \text{konst.}$ Funkce přílnavosti $F(\lambda, v_v = \text{konst.})$ jsou tedy nahrazeny lomenou čarou s $(N - 2)$ body zlomu $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{N-2}$, viz obr. 4.2.



Obr. 4.2. Příklad rychlostního řezu funkce $F(\lambda, v_v = \text{konst.})$

Podstatou lineární interpolace funkce dvou proměnných je nalezení funkční hodnoty na ohraničené hyperbolické ploše, viz obr. 4.3.



Obr. 4.3. Prostorové zobrazení ohraničené plochy pro lineární interpolaci přílnavosti $\mu = F(\lambda, v_v)$

Po nalezení oblasti, např. obdélníka ABCD, vypočteme funkční hodnotu ze vzorce :

$$\mu = F = F_1 + \frac{F_2 - F_1}{v_3 - v_2} (v - v_2) \quad /4.1/$$

kde

$$F_1 = F_A + \frac{F_B - F_A}{\lambda_3 - \lambda_2} (\lambda - \lambda_2) \quad /4.2/$$

$$F_2 = F_C + \frac{F_D - F_C}{\lambda_3 - \lambda_2} (\lambda - \lambda_2) \quad /4.3/$$

5.0. Definice regulační odchylky při brzdění

Výchozím materiálem pro definici regulační odchylky při brzdění vozidla byly zprávy /1/, /2/, průběžně doplňované osobním kontaktem s hlavním řešitelem. Podrobný rozbor, hodnocení a závěry jsou uvedeny v závěrečné zprávě /3/. Dále je uvedeno 19 různých regulačních soustav.

$$1) \text{ Výkonová regulace : } \Delta x = w - \frac{\frac{dF(\lambda, v_v)}{dt} \cdot \frac{2}{v_v}}{(\varepsilon \cdot v_v - w \cdot b_v) r_d} \quad /5.1/$$

$$\text{kde } w = k_1 F(\lambda, v_v) \quad /5.2/$$

$$\text{a vždy platí } \varepsilon \cdot v_v > w \cdot b_v \quad /5.3/$$

$$2) \text{ Regulace 1 : } \Delta x = \varepsilon - k_1 \quad /5.4/$$

$$3) \text{ Regulace 2 : } \Delta x = \varepsilon - k_1 \frac{d\varepsilon}{dt} - k_2 \quad /5.5/$$

$$4) \text{ Regulace 3 : } \Delta x = k_1 F(\lambda, v_v) - \left| \frac{dF(\lambda, v_v)}{dt} \right| \quad /5.6/$$

$$5) \text{ Regulace 4 : } \Delta x = \varepsilon - k_1 b_v - k_2 \quad /5.7/$$

$$6) \text{ Regulace 5 : } \Delta x = \lambda - k_1 \quad /5.8/$$

$$7) \text{ Regulace 6 : } \Delta x = \varepsilon + k_1 \lambda - k_2 \quad /5.9/$$

$$8) \text{ Regulace 7-TELDIX : } \Delta x = A \vee B \quad /5.10/$$

$$A = 1 \text{ pro } \varepsilon - k_1 \geq 0 \quad /5.11/$$

$$B = 1 \text{ pro } \varepsilon - k_2 \geq 0 \quad /5.12/$$

$$9) \text{ Regulace 8 : } \Delta x = \lambda + k_1 \frac{d\lambda}{dt} - k_2 \quad /5.13/$$

$$10) \text{ Regulace 9 : } \Delta x = \varepsilon - k_1 w - k_2 \quad /5.14/$$

$$11) \text{ Regulace 10 : } \Delta x = \lambda + k_1 \frac{d\varepsilon}{dt} - k_2 \quad /5.15/$$

12) Regulace 10A : $\Delta x = \lambda + k_1 \frac{d\varepsilon}{dt} - k_2$ /5.16/

jen pro $\frac{d\varepsilon}{dt} > 0$ /5.17/

13) Regulace 11 : $\Delta x = C \vee D$ /5.18/

$C = 1$ pro $k_1 v_v - k_2 \omega \geq 0$ /5.19/

$D = 1$ pro $\frac{d\varepsilon}{dt} - k_3 \geq 0$ /5.20/

14) Regulace 12 :
(Kubricht 1)

je-li $\Delta x(j-1) = 1$

pak $\Delta x(j) = 1$
pro $\omega(j) - k_3 \omega(j-1) < 0$ /5.21/

a $\Delta x(j) = 0$
pro $\omega(j) - k_3 \omega(j-1) \geq 0$ /5.22/

je-li $\Delta x(j-1) = 0$

pak $\Delta x(j) = 1$
pro $\varepsilon - k_1 \omega - k_2 \geq 0$ /5.23/

a $\Delta x(j) = 0$
pro $\varepsilon - k_1 \omega - k_2 < 0$ /5.24/

15) Regulace 13 :
(Kubricht 2)

je-li $\Delta x(j-1) = 1$

pak $\Delta x(j) = 1$
pro $k_3 v_v - k_4 \omega < 0$ /5.25/

a $\Delta x(j) = 0$
pro $k_3 v_v - k_4 \omega \geq 0$ /5.26/

je-li $\Delta x(j-1) = 0$

pak $\Delta x(j) = 1$
pro $k_1 v_v - k_2 \omega \geq 0$ /5.27/

a $\Delta x(j) = 0$
pro $k_1 v_v - k_2 \omega < 0$ /5.28/

$$16) \text{ Regulace 14 : } \Delta x = (k_1 v_v - v_k) + k_2 \frac{d(k_1 v_v - v_k)}{dt} \quad /5.29/$$

kde v_k je obvodová rychlost kola

$$v_k = r_d \cdot \omega \quad /5.30/$$

$$17) \text{ Regulace 15 : } \Delta x = (k_1 \overline{v_v} - v_k) + k_2 \frac{d(k_1 \overline{v_v} - v_k)}{dt} \quad /5.31/$$

$$\text{kde } \overline{v_v} = \max(v_{k1}, v_{k2}) + k_3 \quad /5.32/$$

$$18) \text{ Regulace 14E : } \Delta x = (k_1 v_v - v_k) + k_2 \mathcal{E} \quad /5.33/$$

$$19) \text{ Regulace 15E : } \Delta x = (k_1 \overline{v_v} - v_k) + k_2 \mathcal{E} \quad /5.34/$$

Rychlost $\overline{v_v}$, použitá ve vzorcích /5.31/, /5.34/ nahrazuje na reálném systému translační rychlost vozidla v_v , která se jinak dá zjišťovat velmi obtížně (např. pátým nebrzděným kolem, radarovým systémem, apod.).

Pro regulační zásah platí, že akční člen je vybuzen pouze je-li $\Delta x > 0$. Regulace uvedené v bodech 2 až 19 pracovaly většinou jako dvoustavové (zadáváno vysoké zesílení PID regulátoru).

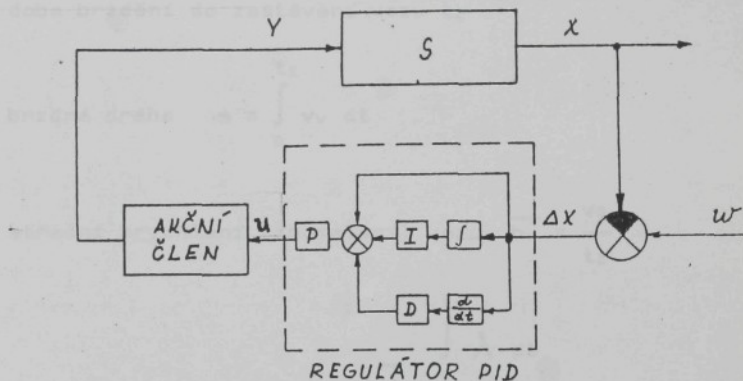
Výpočet regulační odchylky dle zvolené definice je v programu realizován jako podprogram 50, text pro označení typu definice regulační odchylky v záhlavích tabulek a grafů je v programu uložen jako podprogram 85. Oba tyto podprogramy je nutno vytvářet současně. Podprogram 85 slouží jako dokumentační parametr simulačního procesu.

Regulace brzdného procesu není prováděna až do zastavení vozidla. Regulátor je odstavován při rychlosti $v_v = 1$ km/hod. Je to z důvodu vysoké nestability brzdného procesu, způsobené malými hodnotami zrychlení a setrvačných momentů, porovnatelnými se zvolenou přesností iterace. Příklady podprogramů 50 a 85 pro některé definice regulační odchylky jsou uvedeny v příloze K.

Regulace 6, viz formule /5.9/, byla použita při zkouškách antiblokovacího brzdového systému na letadle s nebrzděným přídovым kolem (možnost přesného měření translační rychlosti v_v). Odstavení regulátoru bylo v tomto případě prováděno na rychlosti $v_v = 15$ km/hod. Úpravy podprogramů pro zkoušky simulace brzdění letadla jsou uvedeny v příloze J.

6.0. Regulační PID

Výpočet regulačního zásahu je zařazen za výpočtem regulační odchylky, viz. obr. 6.1.



Obr. 6.1. Blokové schéma regulátoru PID v obvodu simulace

$$u(t) = P \left[\Delta x + D \frac{d(\Delta x)}{dt} + I \int_0^t (\Delta x) dt \right] \quad /6.1/$$

Výstup z regulátoru $u(t)$ je signál pro vybuzení elektromagnetu akčního členu. Regulátor PID nebyl při simulaci využíván v plném rozsahu. Integrovační a derivační složky regulátoru nebyly využívány. Jejich vliv byl prakticky kompenzován definicí regulační odchylky.

7.0. KRITERIA KVALITY REGULACE

Pro posouzení různých brzdných režimů simulace při použití různých typů regulátorů, vozovek, nášlapových brzdných momentů, apod. byla zvolena tato základní kritéria kvality brzdného procesu :

a) doba brzdění do zastavení vozu t_z

b) brzdná dráha
$$s = \int_0^{t_z} v_v dt \quad /7.1/$$

c) střední zrychlení (zpomalení) vozu
$$\overline{b_v} = \frac{v_0}{t_z} \quad /7.2/$$

d) střední hodnota skluzu
$$\overline{\lambda} = \frac{\int_0^{t_R} \lambda \cdot dt}{t_R} \quad /7.3/$$

e) rozptyl skluzu kola
$$S_{\lambda}^2 = \frac{\int_0^{t_R} (\lambda - \overline{\lambda})^2 dt}{t_R} \quad /7.4/$$

f) střední kvadratická změna skluzu kola

$$\left(\overline{\frac{d\lambda}{dt}} \right)^2 = \frac{\int_0^{t_R} \left(\frac{d\lambda}{dt} \right)^2 dt}{t_R} \quad /7.5/$$

g) střední hodnota přilnavosti
$$\overline{\mu} = \frac{\int_0^{t_R} \mu \cdot dt}{t_R} \quad /7.6/$$

h) střední poměrný brzdový moment
$$\overline{M_B} = \frac{\int_0^{t_R} M_B dt}{t_R} \quad /7.7/$$

i) rozptyl poměrného brzdového momentu

$$S_{MB}^2 = \frac{\int_0^{t_R} (M_B - \overline{M_B})^2 dt}{t_R} \quad /7.8/$$

kde t_z je doba brzdění do zastavení vozidla

t_R je doba do odstavení regulátoru.

Výpočty kritériálních veličin uvedených pod d) až i) jsou prováděny v průběhu simulace do odstavení regulátoru (jen v průběhu regulace) samostatně pro každou nápravu. Hodnoty kritériálních veličin jsou ukládány a tištěny automaticky za každou tabulkou.

8.0. HISTORIE VZNIKU SIMULAČNÍHO MODELU

Na možnosti sestavení matematického modelu a simulaci procesu brzdění se začalo pracovat v automatizačním středisku VŠST Liberec v roce 1970. První pokus byl proveden s modelem na analogovém počítači TESLA AP3M pro jednu nápravu a statickou sluzovou charakteristiku $F(\lambda)$, která byla snímána optickým sledovačem křivek z grafu. Na tomto analogovém modelu byla ověřena platnost základních rovnic a sejmuty charakteristiky pro vybrané režimy brzdění /21/. Regulátor brzné síly ještě nebyl použit.

Po zkušenostech z tohoto modelu byl v roce 1971 sestaven program pro číslicový počítač MINSK 22 pro dvounápravové vozidlo a dynamické skluzové charakteristiky. Byly provedeny výpočty vybraných režimů na různých typech vozovek bez regulátoru (prosté brzdění srovnatelné s měřením na vozidle). Současně se provádělo odladění akčních členů pro regulaci brzné síly na analogovém počítači AP3M. Modelování na analogových počítačích viz lit. /27/.

V další etapě byl program upraven pro simulaci brzdění s regulátorem na hybridním systému MINSK 22 - AP3M, viz programovací jazyk MAT-4-HYBRID /28/. Na analogovém počítači AP3M byly namodelovány pohybové rovnice akčních členů a na číslicovém počítači byly iterací řešeny rovnice vozidla, výpočet přílnavosti pneumatika-vozovka, výpočet regulační odchylky a akčních zásahů, prováděl se tisk vypočtených hodnot a celé řízení výpočtu. Byly provedeny výpočty jen pro ověření reálnosti metody řešení. Jednotlivé kroky výpočtu na číslicovém počítači (0,001 sec) trvaly 0,4 až 2 sec. Hybridní systém pracoval v reálném čase a tak jednotlivé kroky výpočtu na hybridním systému musely být zvoleny podle nejdelšího času, tj. 2 sec. Výpočet trval velmi dlouho a obsluha celého systému byla vzhledem k požadavku časté opakovatelnosti dosti náročná.

Proto byl program přepracován celý na číslicový počítač a tento byl dále využíván a vyvíjen. Doba výpočtu se zkrátila zhruba na 1/3 a obsluha je velmi jednoduchá. Průměrná doba výpočtu pro jedno regulované zabrzdění je cca 30 minut, dalších 30 minut trvá tisk tabulek vypočtených hodnot a grafů ze souboru na magnetické pásce. Použitý programovací jazyk je autokód MAT-4 /24/ metodicky blízký moderním jazykům FORTRAN nebo BASIC.

Společně s hlavním řešitelem Ing. Barborou byla práce /22/ pod názvem "Regulace brzdných sil" oceněna 2.cenou v Krajské ceně v technické tvůrčí práci za rok 1972.

Program byl do konečné podoby vyvíjen asi 3 roky. Zpráva /23/ popisuje jeho zatím konečnou 7.verzi.

9.0. POČÍTAČOVÝ PROGRAM PRO SIMULACI BRZDNÉHO PROCESU

Výpis poslední verze simulačního programu v jazyce MAT-4 je v příloze H. Během simulačního výpočtu je průběžně tištěna tabulka vypočtených hodnot a současně jsou vypočtené hodnoty ukládány na magnetickou pásku. Ukázka průběžného tisku tabulky vypočtených hodnot a konečná tabulka kritériálních veličin brzdného procesu jsou v příloze S.

Součástí programového balíku simulace brzdění vozidla jsou programy pro tisk tabulek a grafů vybraných hodnot ze souboru vypočtených hodnot, uloženého na magnetické pásce, viz. přílohy L, M. Ukázky výsledků simulace brzdění, t.j. tabulky a grafy vypočtených hodnot jsou v přílohách F, G.

9.1. Přehled řešených rovnic a jejich realizace v programu

Pro lepší orientaci v návrhu matematického modelu a jeho realizaci v programu simulace byla sestavena přehledná tabulka, viz. příloha P. V příloze R je přehled interního označení proměnných a veličin v programu.

9.2. Krok výpočtu

S ohledem na dynamické vlastnosti systému se doporučuje volit časový krok výpočtu takto :

- pro brzdění bez regulace max. 0,01 sec
- pro regulované brzdění max. 0,001 sec
 (brzdění s regulátorem)

Při delším časovém kroku výpočtu vznikají problémy v iteračním cyklu simulačního výpočtu (dynamika kola, zejména skluz může snadno dosáhnout mezních hodnot).

9.3. Vstupní data

Data pro simulační výpočet jsou rozdělena do tří skupin :

- a) snímač DP1 - základní parametry vozidla a brzdy
 (jde v podstatě o konstrukční, prakticky neměnné parametry, charakterizující dynamický systém)
- b) snímač DP2 - skluzové charakteristiky pneumatika-vozovka
- c) spřažený dálhopis - operativní údaje o výpočtu a protokol
 (jde o datum, krok výpočtu, konstanty pro definici regulační odchylky, zesílení regulátoru, časové konstanty akčních členů, počáteční translační rychlost vozidla, nášlapový brzdový moment, atd.

ad a) Data pro snímač DPI (vzor dat viz. příloha B)

= TYP VOZIDLA * ... označení dat (děrovat jako "jmenovku")

G ... váha vozidla [kg]

l ... rozvor náprav [m]

l₁ ... vzdálenost těžiště vozidla od přední nápravy [m]

r_{d1} ... dynamický poloměr kol přední nápravy [m]

I₁ ... moment setrvačnosti kol přední nápravy [kp m sec²]

r_{d2} ... dynamický poloměr kol zadní nápravy [m]

I₂ ... moment setrvačnosti kol zadní nápravy [kp m sec²]

r_{c1} ... poloměr valivého odporu kol přední nápravy [m]

r_{c2} ... poloměr valivého odporu kol zadní nápravy [m]

h ... výška těžiště vozidla nad vozovkou [m]

k_B ... koeficient přebrzdění přední nápravy k zadní

RAC₁ ...
regulační rozsah (objemová účinnost) akčních členů

RAC₂ ...

KP₁ ...
koeficienty přebytku síly elektromagnetu akč.členů

KP₂ ...

P₀₁ ...
poměrné předpětí vratných pružin akčních členů

P₀₂ ...

P_{T1} ...
poměrná třecí síla při pohybu akčních členů

P_{T2} ...

N_{bv} ... norma translačního zpoždění vozidla [m/sec²]

N_{vv} ... norma translační rychlosti vozidla [m/sec]

N_s ... původně norma brzdné dráhy, u verze 7 simulačního programu již nemá žádný význam (z důvodu kompatibility nutno děrovat libovolné číslo)

N_M ... norma momentu na kole [kp m]

)

Vstupní data je vhodné zakončit stopovou závorkou ")",

ad b) Data pro snímač DP2 (vzor dat viz. příloha A)

= DRUH VOZOVKY * ... označení dat (děrovat jako "jmenovku")

N ... počet hodnot skluzu λ v tabulce, resp. počet bodů v rychlostním řezu funkce $F(\lambda, v_v)$

M ... počet rychlostních řezů funkce $F(\lambda, v_v)$

λ_n ... hodnoty skluzu v procentech (0 - 100)
ve vzestupném pořadí (včetně počátečního
a koncového)

v_{vk} ... body rychlostních řezů v_v [m/sec] vzestupně

$F(\lambda_{kn}, v_{vk})$... matice funkčních hodnot přílnavosti
po řádcích pro $v_v = \text{konst}$, děrovat
jako celé hodnoty v desetitisícinách !
(od $v_v = 0$ do $v_v = v_{vmax}$)

)

Vstupní data je vhodné zakončit stopovou závorkou ")".

ad c) Data ze spráženého dálkopisu (vzor dat viz. příloha C)

Formou odpovědí na otázky se před zahájením výpočtu simulace zadává :

1. Datum výpočtu (jako alfanumerický text zakončený "*")
- pouze je-li zapnut klíč 100 (např.: "28.června 1974* ")
2. Počáteční rychlost vozidla v_0 [km/hod]
3. Poměrný nášlapový brzdový moment M_{Nmax} v rozsahu $<0, 1>$
4. Doba náběhu brzdového momentu t_b [sec]
5. Krok výpočtu t [sec]
6. Krok tisku vzhledem ke kroku výpočtu
(např. pro tisk po každém pátém kroku zadáme : 5)
7. Počátek tisku vzhledem ke kroku tisku
(zadáme-li nulu, provádí se tisk od začátku výpočtu,
zadáme-li 100 , vynechá se prvních 100 tiskových řádků)
8. Rozhodovací konstanta **I8** :
I8 = 0 ... nebudeme ukládat tabulky do souboru na MGP
I8 = 1 ... budeme ukládat tabulky do souboru na MGP
Jeli I8 = 1, žádá se dále : - číslo kotouče MGP
- číslo mechanismu MGP
- počáteční adresa souboru
9. Konstanty regulátoru K_1 až K_4 , K_5 až K_8
(podle definice regulační odchylky, viz. kapitola 5.0.
a příloha K)
10. Zesílení regulátoru PID, K_{11} K_{12} K_{13} , K_{14} K_{15} K_{16}
(viz. kapitola 6.0. a přílohy P, R)
11. Časové konstanty přechodové funkce akčních členů [sec]
a dopravní zpoždění [vzhledem ke kroku výpočtu]. Maximální
dopravní zpoždění je 100 výpočtových kroků !!
Časové konstanty mohou být různé pro akční členy přední
a zadní nápravy a různé pro oba směry pohybu pístu
akčního členu. Zadáváme tedy celkem 10 konstant :
+ + - - + + - -
 $T_1, T_2, T_3, T_4, T_{D1}, T_5, T_6, T_7, T_8, T_{D2}$

9.4. Manipulace s programem simulace

Příprava programu v symbolickém jazyce MAT-4 spočívá pouze ve volbě definice regulační odchylky, t.j. připojení podprogramů 50 a 85 k základní části zdrojového textu (viz. kapitola 5.0. a příloha K).

Po překladu kompletního programu je před spuštěním výpočtu nutno provést :

1. Zavést program do paměti počítače
2. Zvolit režim výpočtu nastavením klíčů, nejčastěji klíče 100 a 40 (viz. použití klíčů níže)
3. Vložit data do **SNI1** (parametry vozidla)
4. Vložit data do **SNI2** (tabulka skluzové charakteristiky pneumatika-vozovka)
5. Připravit magnetickou pásku pro uložení vypočtených hodnot (pouze budeme-li zapisovat na MGP - běžný režim)
6. Připravit děrovač **DER1**, popř. **DER2**, širokou řádkovou tiskárnu **ACPU** a úzkou rychlotiskárnu **TBPM**

Po odstartování programu pokračuje činnost obsluhy a práce počítače takto :

7. Start programu (36)a
8. Na spřaženém dálkopisu **DLPS** zadat datum (pouze je-li zapnut klíč 100)
9. Na **DLPS** se při čtení dat ze **SNI1** a **SNI2** kopírují texty, označující druh vložených dat (typ vozidla, typ definice regulační odchylky, typ vozovky)
10. Na **TBPM** se vytisknou konstanty vozidla, vypočítané z parametrů vozidla (pouze je-li klíč 40 zapnut)
11. Na **DLPS** zadat další údaje, viz kapitola 9.3. ad c)
12. Na **TBPM** se vytisknou konstanty stavových vzorců pro pohyb akčních členů (pouze je-li klíč 40 zapnut)

Tímto jsou provedeny všechny úvodní činnosti simulačního výpočtu a je zahájen výpočet :

13. Na **DER1** se vyděruje kopie záhlaví tabulky a na konci výpočtu ještě tabulka kritériálních hodnot

14. Provádí se průběžný tisk tabulek poměrných hodnot veličin M_{B1} , b_v , v_v , ξ_1 , ω_1 , ξ_2 , ω_2 , λ_1 , λ_2 , Δx_1 , u_1 , Y_{AC1} , Δx_2 , u_2 , Y_{AC2} na **ACPU** nebo na **DER2** (viz. klíč 2). Průběžný tisk tabulek možno potlačit zapnutím klíče 10.
15. Současně se ukládají tabulky všech vypočtených poměrných veličin na zvolenou **MGP**.
16. Jeli klíč 40 zapnut, tiskne se na **TBPM** průběžně při každém výpočtovém kroku číslo výpočtového kroku a počet iteračních kroků při iteraci skluzu.
17. Na konci výpočtu se vypíše počet řádků tabulky a je-li prováděn zápis na **MGP**, vytiskne se první volná adresa na **MGP** a sdělení "Vlož DP se záhlavím do **SNI1**"
18. **STOP *7777 3333 1111** - konec výpočtu

Další činnost se provádí pouze při ukládání tabulek na **MGP** :

19. Do **SNI1** vložit **DP** se záhlavím simulace, vyděrovanou **DER1**
20. **START** - přečte se záhlaví z děrné pásky, uloží na **MGP** a na **DLPS** se vypíše sdělení "ZÁHLAVÍ TABULKY ULOŽENO". (Záhlaví tabulky slouží dále pro dokumentační účely).
21. **STOP *7777 3333 1111** - koncový stop výpočtu.
22. Děrnou pásku z **DER1** vypsát a uchovat pro dokumentační účely.

Ukázka protokolu o výpočtu, vypisovaného na **DLPS** je v příloze **C**.
Ukázka průběžného tisku vypočtených veličin a kritériálních hodnot je v příloze **S**.

Použité zkratky zařízení výpočetní techniky :

- DP** ... děrná páska (v tomto případě 5-stopá v kódu CCITT)
- MGP** ... magnetická páska
- ACPU** ... široká řádková tiskárna
- DLPS** ... spřažený dálkopis (konzola s výpisem)
- TBPM** ... úzká rychlotiskárna (pro mezivýsledky)
- SNI1**, **SNI2** ... snimač děrné pásky č.1, č.2
- DER1**, **DER2** ... děrovač děrné pásky č.1, č.2

Použití klíčů pro větvení programu

Klíče na počítači MINSK 22 jsou hardwareové přepínače, umožňující operativní změny průběhu výpočtu, např. na základě průběžných výsledků nebo jiného okamžitého požadavku operátora. Použití klíčů je obecně možné obejít např. volbou řídicích parametrů v datech na začátku výpočtu. Používání klíčů je většinou výhodnější a operativnější.

Klíč 2 vyp ... tisk tabulek na široké tiskárně **ACPU**
zap ... tisk tabulek na děrovači **DER2**

Klíč 10 zap ... blokování průběžného tisku tabulky při
simulačním výpočtu (používá se pro
urychlení výpočtu v nezajímavých místech
brzdného procesu)

Klíč 20 zap ... stop *75 75 75 po každém zápisu na MGP
(po každých 200 krocích tisku)

Klíč 40 zap ... tisk mezivýsledků na úzké rychlotiskárně

a) konstanty vozidla, konstanty stavových
vzorců pro akční členy
(tiskne se na začátku výpočtu)

b) krok výpočtu, počet iteračních kroků
při iteraci λ , b_v
(průběžně po každém výpočtovém kroku)

Klíč 100 zap ... požadavek na vložení datumu výpočtu na
začátku výpočtu (alfanumerický text)

9.5. Uložení vypočtených hodnot na magnetickou pásku

Tabulky vypočtených poměrných hodnot veličin při simulačním výpočtu jsou ukládány po větách (řádcích), viz. operativní údaje ze spřaženého dálkopisu DLPS a řídící konstanta IB. Poměrné hodnoty tištěných veličin jsou vztaženy ke zvoleným, popř. vypočteným normám, viz. data pro SNI1. V jednom řádku je celkem 18 údajů v pořadí :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M _{B1}	ξ_1	ω_1	λ_1	$F_1(\lambda_1, v_v)$	Δx_1	u_1	Y_{AC1}	b_v	v_v
M _{B2}	ξ_2	ω_2	λ_2	$F_2(\lambda_2, v_v)$	Δx_2	u_2	Y_{AC2}		
11	12	13	14	15	16	17	18		

Na začátku souboru vypočtených hodnot je programem rezervováno celkem 300 slov pro charakteristické údaje o režimu brzdění. Tyto dokumentační údaje jsou využívány při tisku tabulek a grafů a jsou rovněž tištěny v záhlaví sestav.

Prvních 290 slov je určeno pro text záhlaví, který se automaticky děruje na DER1 na začátku simulačního výpočtu, viz. bod 13 kapitoly 9.4. Pro tento účel je text záhlaví na děrné pásce zakončen znakem s desítkovou hodnotou 05 v kódu CCITT, na dálkopisu SIEMENS je to znak "Q", písmenový ekvivalent je "H", na tiskárně ACPU znak "↑".

Za textem záhlaví následuje na děrné pásce popis sloupců tabulky průběžně tištěných veličin simulačního výpočtu. Konec popisu sloupců tabulky je označen znakem s hodnotou 22=(26)₈, na dálkopisu SIEMENS znak "Q", písmenový ekvivalent "F", na tiskárně ACPU znak ">". Znak 22 lze využít pro vynechání popisu sloupců tabulky při čtení vypočtených hodnot z DP pro další zpracování (např. pro graf nebo pro výběr pouze některých hodnot). Vzhledem k možnosti tisku tabulek a grafů ze souboru na magnetické pásce již není tato možnost prakticky využívána.

Posledních 10 rezervovaných slov je použito na uložení základních údajů o režimu brzdění :

- S 290 ... počet funkcí v tabulce **I15** = 18 (délka věty)
- S 291 ... počet řádků tabulky **I3** (počet vět)
- S 292 ... časový krok výpočtu **C3** [sec]
- S 293 ... krok tisku ke kroku výpočtu **I5**
- S 294 ... počátek tisku ke kroku výpočtu **I7**
- S 295 ... nepoužito (rezerva)
- S 296 ... okamžik zastavení [sec]
- S 297 ... brzdná dráha **R3** [m]
- S 298 ... střední zpomalení vozidla $\overline{b_v}$ [m/sec²]
- S 299 ... počáteční adresa souboru na MGP

Výše uvedené údaje dále používají programy pro tisk tabulek a grafů.

9.6. Interní význam a použití proměnných v programu

Znalost označení fyzikálních veličin vozidla a dalších proměnných a řídících parametrů v programu simulace je důležitým předpokladem pro studium, úpravy, popř. další vývoj programu. Rovněž případné převedení programu na nový počítač je bez znalostí používaných deklarovaných proměnných velmi obtížné a časově náročné. Pro tyto účely byla vytvořena přehledná tabulka interního významu proměnných v programu, viz. příloha R .

9.7. Program tisku tabulek vybraných funkcí

Program **TISK** provádí tisk tabulek zvolených veličin ze souboru vypočtených hodnot na magnetické pásce, vytvořeného simulačním programem. Výpis programu **TISK** je v příloze L.

Data vstupují ze snímače děrné. pásky **SNI2** a spřaženého dálkopisu **DLPS**. Program využívá charakteristické údaje na začátku souboru, viz kapitola 9.5. Zredukuje se tak počet operativních údajů pro spuštění programu a sníží se riziko chyby. Ukázka tisku tabulky vybraných veličin je v příloze F.

Data ze snímače SNI2, viz příloha D.

Vstupuje pouze text pro označení sloupců v tabulce. Text je zakončen znakem "*". Na každý sloupec je třeba počítat s 9 znaky.

Data ze spřaženého dálkopisu DLPS, viz příloha C.

Formou odpovědí na otázky zadáváme :

1. Číslo mechanismu MGP
2. počáteční adresa souboru (kontroluje se s údajem S 299)
3. Počet funkcí ve výběru (počet sloupců tabulky)
4. Indexy zvolených funkcí v libovolném pořadí
(1 až 18, viz. kapitola 9.5.)
5. Krok výběru vzhledem k uloženým větám
(např. vybírat každou desátou větu - zadat 10)
6. Počátek výběru vzhledem k uloženým větám
(od 0, např. výběr od začátku - zadat 0)

Manipulace s programem TISK

1. Program zavést do paměti počítače
2. Zvolit výstupní zařízení klíčem 2 : vyp - tisk na ACPU
zap - tisk na DER2
3. Vložit data do SNI2 (alfanumerický text)
4. Start programu (36)₈
5. Formou odpovědi na otázky zadat řídící údaje na DLPS
6. Program vytiskne tabulku a na konci sestavy vypíše:
 - okamžik zastavení
 - brzdou dráhu
 - počet vytištěných řádků tabulky
7. Na DLPS se vypíše : počet vytištěných řádků tabulky
8. STOP * 7777 3333 1111 - koncový stop výpočtu

9.8. Program tisku grafických průběhů vybraných funkcí

Program **GRAF** tiskne grafické průběhy vybraných funkcí ze souboru vypočtených hodnot na magnetické pásce, vytvořeného simulačním programem. Grafy jsou tištěny na řádkové tiskárně ACPU zvolenými symboly bodově s odstupy dle řádkování tiskárny. Výpis programu **GRAF** je v příloze **M**.

Data vstupují ze snímače děrné pásky **SNI2** a spráženého dálnopisu **DLPS**. Program využívá charakteristické údaje na začátku souboru, viz kapitola 9.5. Zredukuje se tak počet operativních údajů pro spuštění programu a sníží se riziko chyby. Ukázka tisku grafických průběhů vybraných hodnot je v příloze **G**.

Data ze snímače SNI2, viz příloha **E**.

Vstupuje pouze text pro popis zvolených funkcí. Text je zakončen znakem "*". Uvedený text se tiskne pro informaci v záhlaví sestavy společně s přidělenými tiskovými symboly.

Data ze spráženého dálnopisu DLPS, viz příloha **C**.

Formou odpovědí na otázky zadáváme :

1. Číslo mechanismu MGP
2. počáteční adresa souboru (kontroluje se s údajem S 299)
3. Počet funkcí ve výběru
4. Indexy zvolených funkcí v libovolném pořadí
(1 až 18, viz. kapitola 9.5.)
5. Krok výběru vzhledem k uloženým větám
(např. vybírat každou desátou větu - zadat 10)
6. Měřítka pro graf (možnost automatického zjištění
maximální a minimální hodnoty)

- Y_{min}

- Y_{max}

- **ŘÁDKOVÁNÍ**

(zadáme-li 1, tiskne se na každý řádek,
zadáme-li 3, tiskne se na každý 3.řádek
a graf je časově roztažený)

Použití klíčů v programu GRAF

Klíč 2 - vyp - tisk na rádkové tiskárně ACPU

zap - tisk na děrovači DER2

Klíč 10 - vyp - před volbou měřítek grafu se automaticky zjistí min a max hodnota z vybraných funkcí (měřítko se žádá až po zjištění rozsahu)

zap - nezjišťuje se min a max hodnota a přímo se žádá volba měřítka

Manipulace s programem GRAF

1. Program zavést do paměti počítače
2. Zvolit klíče
3. Při vypnutém klíči 2 - vypnout stránkování na tiskárně
4. Vložit data data do snímače SNI2 (alfanumerický text)
5. Start programu (36)s
6. Formou odpovědí na otázky zadat řídící údaje na DLPS
7. Na DLPS se vytiskne min a max hodnota jako nápověda pro určení měřítka grafu (pouze je-li klíč 10 vypnut)
8. Na DLPS zadat měřítka grafu (min a max souřadnici)
9. Program vytiskne grafy a na konci sestavy vypíše:
 - počátek tisku grafu
 - okamžik zastavení
 - brzdou dráhu
 - počet vytištěných řádků grafu
10. Na DLPS se vypíše : počet vytištěných řádků grafu
11. STOP * 7777 3333 1111 - koncový stop výpočtu

Z Á V Ě R

Práce je praktickou ukázkou aplikace moderních prostředků při řešení technických problémů. Rozhodujícím momentem efektivnosti metody simulace je možnost ověření způsobu řešení v době návrhu a konstrukce před etapou výroby.

Všechny zvolené zjednodušující předpokady pro návrh modelu se ukázaly jako vhodné a neměly podstatný negativní vliv na dosažené výsledky simulace. Požadavky kladené na simulační model byly prakticky splněny. Jediným handicapem celého řešení je relativně dlouhá doba výpočtu, podmíněná dostupnou výpočetní technikou v době řešení problému.

Průběhy funkcí získané simulací na počítači se až překvapivě shodovaly s charakterem a velikostí hodnot naměřených při provozních zkouškách na vozidle. Ukázalo se, že pro běžné ověřování vlastností brzděného systému není nutné zvyšovat počet stupňů volnosti modelu.

a) Výsledky disertace s uvedením nových poznatků

Model byl účinným nástrojem při ověřování problematiky regulace brzdění vozidel a během celé doby řešení úkolu (částečně i po jeho ukončení) byl průběžně využíván a vyvíjen.

Při simulačním procesu je možné sledovat časové průběhy 18 fyzikálních veličin vozidla, což dává řešiteli solidní představu o řešeném problému. Simulační režimy brzdění byly prováděny z různé počáteční rychlosti, různým nášlapovým brzdovým momentem, na 4 typech vozovek, resp. adhezních funkcí $F(\lambda, v_v)$. Jednotlivé režimy brzdění byly posuzovány dle stanovených kritérií, viz kap. 7.0.

Většina simulací brzdění s regulátorem byla prováděna s parametry vozidla ŠKODA S-720, později byly zkušenosti uplatněny s parametry letadla L-39 ALBATROS s přední a zadní centráží (dodal Moravan Otrokovice).

Bylo ověřeno celkem 19 typů regulačních soustav, viz. kapitola 5.0. a příloha K. Na odladění jednoho typu regulátoru bylo třeba cca 10 hodin strojového času počítače MINSK 22, což představovalo náklady 7800 Kčs za pronájem počítače. Uvedené finanční náklady lze považovat za přijatelné, neboť ověřování na reálném zařízení by bylo několikanásobně dražší a časově náročnější, nepočítáme-li problémy s měřením všech veličin z vozidla a jejich záznam. Další nespornou výhodou simulace je vytvoření vždy stejných provozních a povětrnostních podmínek, což může na reálném zařízení dělat potíže.

Kromě brzdění s regulátorem byly dále ověřovány vlastnosti brzdění vozidel bez regulace (prosté zabrzdění). Šlo zejména o zjišťování naběhu brzdného momentu na kolech vozidla za různých skluzových podmínek blízkých reálné skutečnosti (reálné skluzové charakteristiky). Zkoušky byly prováděny s parametry osobních vozidel SKODA S-761 TUDOR, S-762 SEDAN, S-764 KOMBI, S-765 KOMBI SPECIAL a nákladních vozidel AVIA AN-20, AN-30K, AN-40, ROBUR LKW, ROBUR BUS, v režimech prázdný a plně naložený, brzděné nápravy obě, jen přední, jen zadní. Zajímavý byl i údaj brzdné dráhy. Při simulaci brzdění bez regulátoru odpadla zdlouhavá optimalizace parametrů seřízení regulátoru (definice regulační odchylky).

b) Konkrétní závěry pro realizaci ve společenské praxi

Předložená práce je přes svůj časový odstup stále aktuální a živá. Okamžité využití je např. možné při ověřování naběhu brzdného momentu a brzdné dráhy vozidel bez regulátoru na různých druzích povrchu, nebo různých typech pneumatik, viz. předchozí odstavec ad a).

Samozřejmě další využívání se předpokládá především při vývoji antiblokovacích brzdných systémů nejen u silničních vozidel, ale i v dalších oblastech dopravy, např. u letadel nebo na kolejových vozidlech.

c) Konkrétní závěry pro další rozvoj vědy

Vývoj a kvalitativní zdokonalování simulačního modelu není možno považovat za ukončené. Vzhledem k tomu, že byla zvládnuta problematika simulace brzdění jednoduchého základního modelu dvounápravového vozidla, je možné rozvíjet a do simulačního obvodu vkládat další konstrukční bloky a celky a zvyšovat počet stupňů volnosti. Jde zejména o odpružení náprav a použití řízených tlumičů, popř. různé konstrukce zavěšení náprav.

Současná výpočetní technika umožňuje nejen podstatně zrychlit dobu výpočtu brzdného režimu, ale i převedení celého problému na personální počítač. Tím vznikají pro řešitele dříve netušené možnosti. Předložený model je možné dle ověřené metody prakticky bez úprav snadno převést na moderní výpočetní prostředek a řešit s jeho pomocí dnešní a perspektivní problémy konstrukce automobilů, zejména z oblasti brzdových systémů, konstrukce náprav a jízdních vlastností.

L I T E R A T U R A

- /1/ BARBORA, J.: Studie o regulátorech brzdné síly. Výzkumná zpráva n.p. Autobrzdý Jablonec n.N. k úkolu č. 1100665 za rok 1970.
- /2/ BARBORA, J.: Regulace brzdných sil. Výzkumná zpráva n.p. Autobrzdý Jablonec n.N. k úkolu č. 1100665 za rok 1971.
- /3/ BARBORA, J.: Regulace brzdné síly. Závěrečná zpráva o výzkumu protiblokovacího regulátoru. Autobrzdý Jablonec n.N., 1973.
- /4/ BARBORA, J.: Zadávací podklady pro výpočetní středisko VŠST Liberec. Dílčí materiál k úkolu č. 1100665 - Regulace brzdných sil. Autobrzdý Jablonec n.N., 1971.
- /5/ McHENRY, R.R.: Research in Automobile Dynamics - A Computer Simulation of General Three-Dimensional Motions. Výzkumná zpráva Cornell Aeronautical Laboratory. SAE Preprint 710361, 1971. UTEI-700 361.
- /6/ HARNED, J.L. - JONSTON, L.E. - SHARPF, G.: Measurement of Tire Brake Force Characteristics as Related to Wheel Slip (Antilock) Control System Design. Výzkumná zpráva General Motors Corp. SAE Preprint 690214, 1970. UTEI-700 907 261.
- /7/ MITSCHKE, M. - WIEGNER, P.: Der Blockiervorgang eines gebremsten Rades. Vortrag auf dem XIII. FISITA-Kongress, Brüssel, Juni 1970. ATZ 72 (1970), Nr.10, s. 359-363.
- /8/ LEIBER, CZINCEL : Die elektronische Bremsregler und seine Problematik. ATZ 1972 č.7, str. 269-282.
- /9/ KOVAŘÍK, J.: Regulace brzdné síly pro hydraulické brzdy, řešení akčního členu. Dílčí zpráva úkolu za rok 1971. VUT Brno, katedra spalovacích motorů.
- /10/ KOVAŘÍK, J.: Výzkum akčního členu protiblokovací automatiky. Závěrečná zpráva úkolu. VUT Brno, 1972.
- /11/ HONZOVÁ, ADAMEC : Zpráva o vývoji elektronické části regulátoru brzdné síly. Výzkumná zpráva n.p. PAL Magneton Kroměříž za rok 1971.
- /12/ ADAMEC : Závěrečná zpráva o vývoji elektronické části regulátoru brzdné síly. Úkol n.p. PAL Magneton Kroměříž č. 9999.10.
- /13/ NOVÁK : Zkušební zpráva o laboratorních zkouškách na umělé vozovce č. Z-No-16-1172. Zkušební zpráva n.p. Autobrzdý Jablonec.
- /14/ NOVÁK : Zkušební zpráva o jízdních zkouškách č. Z-No-24-1272. Zkušební zpráva n.p. Autobrzdý Jablonec z první etapy zkoušek s vozidlem.
- /15/ NOVÁK : Zkušební zpráva o jízdních zkouškách č. Z-No-19-0673. Zkušební zpráva n.p. Autobrzdý Jablonec.

- /16/ NOVÁK : Zkušební zpráva o laboratorních zkouškách protiskluzového regulátoru s hydraulickou centrálou a leteckým kolem Z-No-19-10-73. Zkušební zpráva n.p. Autobrzdy Jablonec a n.p. Moravan Otrokovice.
- /17/ KOVAŘÍK, KAŠEK: Regulační zařízení automatického protiblokovacího ústrojí hydraulických brzd vozidel. Patentní spis ČSR - 117 336.
- /18/ KOVAŘÍK : Otázky brzdění automobilového kola z hlediska funkce protiblokovací automatiky. Sborník VUT Brno 1966.
- /19/ ZEDNÍK : Výzkum protiblokovacího zařízení pro vzduchotlaké brzdy. Výzkumná zpráva ÚVMV Praha č. Z-1/67.
- /20/ KUBRICHT : Výzkum protiblokovacího systému. Výzkumná zpráva ÚVMV Praha č. Z-54/69.
- /21/ BARBORA, RÉDOVÁ, MEVALD: Protokol o modelování dynamiky brzděného kola na vozovce s různými třecími vlastnostmi. Zpráva n.p. Autobrzdy Jablonec a VŠST Liberec, 1970.
- /22/ VOJTA, F.: Simulace procesu brzdění automobilu s regulátorem brzdě síly na počítači. Zpráva pro soutěž "Krajská cena v technické tvůrčí práci", VŠST Liberec 1972.
- /23/ VOJTA, F.: Simulace brzdění automobilu s regulátorem brzdě síly. Závěrečná zpráva o programu P-0160. Automatizační středisko VŠST Liberec, 1974.
- /24/ FORMANDL, FORMANDLOVÁ : Autokód MAT-4. Ústav pro další vzdělávání v kontrole, evidenci a statistice Praha, 1966.
- /25/ REKTORYS : Přehled užití matematiky. SNTL Praha, 1968.
- /26/ ŠVEC, KOTEK : Teorie automatického řízení. SNTL Praha, 1969.
- /27/ BORSKÝ, MATYAŠ : Technika použití elektronických analogových počítačů. SNTL Praha, 1963.
- /28/ LINHART : Programovací jazyk pro hybridní počítač MINSK 22-AP3M. Výzkumná zpráva INORGA Praha, 1968.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A - Tabulky funkcí přilnavosti pneu-vozovka $F(\lambda, v_v)$

Příloha B - Vzory vstupních dat parametrů vozidla

Příloha C - Vzory zadávání operativních údajů vozidla pro simulaci brzdění a protokol o výpočtu

Příloha D - Vzory vstupních dat pro tisk tabulek vypočtených hodnot

Příloha E - Vzory vstupních dat pro tisk grafických průběhů sledovaných veličin

Příloha F - Ukázka tabulky vypočtených hodnot sledovaných veličin brzděného procesu

Příloha G - Ukázka grafických průběhů sledovaných veličin vozidla

Příloha H - Výpis poslední verze programu simulace brzdění vozidla v jazyce MAT-4

Příloha J - Výpis úprav podprogramů pro simulaci brzdění letadla

Příloha K - Výpisy podprogramů definic regulační odchylky

Příloha L - Výpis programu pro tisk tabulek vybraných veličin simulace

Příloha M - Výpis programu pro tisk grafických průběhů vybraných veličin simulace

Příloha P - Přehled řešených rovnic a jejich realizace v programu simulace

Příloha R - Interní význam a použití proměnných v programech simulace (verze 7)

Příloha S - Ukázka průběžného tisku vypočtených veličin při simulaci a tabulka kritériálních hodnot

Poznámky

TYP 1 - SUCHY ASFALT, BETON, DIAGONALNI PNEU (USA)•

8 13

0	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	30	35	40	60	80	90	95	100
0	2,315	4,63	6,94	9,26	11,57	13,89	16,20	18,52	20,83	23,15	25,46	27,78					

0	4450	6700	9020	11800	11910	12280	12390	12320	12175	11900	11660	11430	10810				
10	620	10360	10250	10100													
0	4450	6670	8430	9720	10130	10450	10560	10610	10650	10650	10530	10370	9810	9400			
20	825	8930	8730														
0	4450	6640	8025	8570	8900	9130	9300	9390	9480	9520	9500	9420	8960	8425	7975		
30	800	7575															
0	4450	6610	7950	8460	8760	8960	9075	9100	9080	9000	8775	8700	8200	7875	7560		
40	720	7275															
0	4450	6580	7925	8360	8650	8830	8910	8870	8800	8625	8450	8300	7900	7650			
50	740	7450	7300														
0	4450	6550	7900	8280	8550	8720	8750	8700	8625	8450	8270	8140	7900	7725			
60	750	7575	7450														
0	4450	6520	7860	8220	8420	8540	8580	8540	8475	8300	8130	8020	7900	7870	7730		
70	720	7610															
0	4450	6485	7810	8130	8310	8390	8410	8370	8320	8190	8060	7940	7900				
80	770	7860	7830	7725													
0	4450	6450	7720	8050	8180	8210	8200	8175	8150	8060	7980	7890	7870	7875	7900		
90	710	7800															
0	4450	6410	7580	7830	7950	8000	8000	7890	7950	7910	7860	7810	7850	7875			
100	750	7925	7850														
0	4450	6375	7400	7630	7720	7760	7770	7750	7750	7720	7720	7700	7780	7875			
110	745	7945	7890														
0	4450	6310	7120	7340	7450	7480	7500	7480	7500	7500	7530	7550	7720	7875			
120	760	7961	7910														
0	4450	6250	6720	6920	7025	7110	7160	7200	7230	7300	7350	7420	7650	7875	7975		
130	780	7930															

)

TYP 2 - MOKRY MEKKY ASFALT (1 MM VODY), DIAGON. PNEU•

20 7

0	2,5	3,75	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	25	30	35	40	60	70	80	90	95	100
0	4,63	9,26	13,89	18,52	23,15	27,78													

0	2370	3970	5430	7870	9375	10330	10775	10700	10475	10220	10000	9870	9630	7125					
10	750	4550	3170	2830	2275														
0	2370	3660	4850	6500	7420	7950	8130	8050	7875	7550	7325	7150	6900	4925	4870				
20	3670	2820	2530	2075															
0	2370	3450	4360	5370	5800	5975	5950	5825	5700	5450	5190	4980	4710	3350	3300				
30	2890	2500	2260	1880															
0	2370	3325	3920	4360	4500	4450	4350	4220	4060	3790	3520	3310	3070	2270	2225				
40	2160	2075	1930	1630															
0	2370	3200	3480	3560	3470	3340	3200	3025	2880	2600	2380	2200	2020	1600	1550				
50	1550	1530	1500	1330															
0	2370	2925	3060	2970	2720	2520	2350	2210	2100	1840	1625	1460	1325	1075	1030				
60	1100	970	970	900															
0	2370	2700	2650	2310	2100	1900	1730	1570	1450	1220	1040	930	850	640	590	550			
70	530	500	420																

)

TYP 3 - HLADKE NALEDI (-4) + DIAGONALNI PNEU (USA)®

B 5

0	2,5	5	7,5	10	12,5	15	20	30	40	60	80	90	95	100
0	2,315	4,63	9,26	13,89										

0	580	715	840	905	910	905	875	793	660	430	465	525	610	725
0	600	760	900	970	980	965	935	845	750	585	620	675	730	795
0	622	820	955	1035	1050	1040	995	900	840	775	790	825	845	865
0	660	955	1055	1100	1115	1110	1060	990	960	1010	1070	1090	1070	990
0	695	1030	1080	1050	1010	975	940	935	955	1055	1080	1240	1220	1155

)

TYP 4 - SUCHY SYPKY STERK STREDNI + DIAGON. PNEU®

B 9

0	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	25	30	35	40	60	70	80	90	95	100
0	4,63	9,26	11,57	13,89	16,20	18,52	20,83	23,15										

0	1810	2300	2650	2780	2790	2800	2810	2820	2840	2880	2900	2930	3130	3400	3880	4050
4860	5430															
0	1810	2450	2850	3100	3200	3250	3270	3300	3320	3350	3370	3400	3650	3900	4200	4600
4820	5100															
0	1810	2700	3100	3350	3470	3550	3620	3670	3750	3830	3890	3920	4180	4290	4620	4520
4670	4800															
0	1810	2690	3080	3480	3630	3730	3820	3880	4000	4090	4175	4250	4320	4450	4490	4550
4620	4700															
0	1810	2700	3250	3600	3750	3850	3940	4000	4140	4250	4330	4400	4530	4530	4530	4560
4600	4650															
0	1810	2800	3375	3750	3900	3980	4040	4090	4150	4230	4290	4330	4400	4410	4420	4525
4650	4750															
0	1810	2900	3570	3870	3980	4075	4120	4140	4175	4200	4225	4250	4325	4375	4400	4550
4600	4900															
0	1810	2940	3650	3950	4120	4200	4275	4300	4360	4400	4440	4460	4480	4500	4520	4600
4880	5010															
0	1810	2950	3700	4200	4400	4530	4600	4650	4750	4830	4870	4900	4900	4900	4900	4980
4950	5180															

)

Příloha B

Vzory vstupních dat parametrů vozidla

S - 720⁺ } TYP VOZIDLA

1170		G		}	PARAMETRY VOZIDLA
2,55	1,23	l	l_1		
0,295	0,15	r_{d1}	I_1		
0,295	0,15	r_{d2}	I_2		
0,025	0,025	r_{c1}	r_{c2}		
0,6		h			

1,3809 k_B } PŘEBRZDĚNÍ PŘEDNÍ NÁPRAVY

1	1	R_{AC1}	R_{AC2}	}	PARAMETRY AKČNÍHO ČLENU
1,1	1,1	k_{P1}	k_{P2}		
0,03	0,03	P_{O1}	P_{O2}		
0,02	0,02	P_{T1}	P_{T2}		

13 27,78 150 100 N_{bv} N_{Vv} N_s N_M } NORMY VELIČINS - 720 (1)⁺

1170
2,55 1,23
0,295 0,15
0,295 0,15
0,0074 0,0074
0,6

1,3809

1 1

1,1 1,1
0,03 0,03
0,02 0,02

13 27,78 150 100

)

↓ETADLO-BRZDA K-36-1200 - PREDNI CENTRAZ●

5200
4,42 3,78
0,2 0,03
0,26 0,12
0,015 0,025
1,205

1
1 1 1 1
0 0 0 0

6 27,77 1000 1000

)

↓ETADLO-BRZDA K-36-1200 - PREDNI CENTRAZ-19.8.1982●

5200
4,42 3,78
0,2 0,03
0,26 0,12
0,005 0,0065
1,205

1
1 1 1 1
0 0 0 0

6 27,77 1000 1000

)

↓ETADLO-BRZDA K-36-1200 - ZADNI CENTRAZ-19.8.1982●

8000
4,42 3,915
0,2 0,03
0,26 0,12
0,005 0,0065
1,205

1
1 1 1 1
0 0 0 0

6 27,77 1000 1000

)

AN-20 PRAZONY

2580		G
2,68	1,0	$l \quad l_1$
0,388	0,17	$r_{d1} \quad I_1$
0,388	0,17	$r_{d2} \quad I_2$
0,025	0,025	$r_{c1} \quad r_{c2}$
1,1		h

13	27,78	150	600	N_{bv}	N_{vv}	N_s	N_M
----	-------	-----	-----	----------	----------	-------	-------

)

S-761 TUDOR PRAZDNY

925

2,5 1,1325

0,275 0,15

0,275 0,15

0,02 0,02

0,56

13 41,66 1 150

)

S-761 TUDOR PLNY

1250

2,5 1,38

0,275 0,15

0,275 0,15

0,02 0,02

0,56

13 41,66 1 150

)

S-762 SEDAN PRAZDNY

985

2,5 1,18

0,275 0,15

0,275 0,15

0,02 0,02

0,56

13 41,66 1 150

)

S-762 SEDAN PLNY

1310

2,5 1,4125

0,275 0,15

0,275 0,15

0,02 0,02

0,56

13 41,66 1 150

)

S-764 KOMBI PRAZDNY

D35

2,5 1,2247

0,280 0,15

0,280 0,15

0,02 0,02

0,58

13 41,66 1 150

)

S-764 KOMBI PLNY

H50

2,5 1,578

0,28 0,15

0,28 0,15

0,02 0,02

0,58

13 41,66 1 150

)

S-765 KOMBI SPECIAL PRAZDNY

D55

2,6 1,3

0,28 0,15

0,28 0,15

0,02 0,02

0,58

13 41,66 1 150

)

S-765 KOMBI SPECIAL PLNY

H80

2,6 1,3

0,28 0,15

0,28 0,15

0,02 0,02

0,58

13 41,66 1 150

)

Příloha C

Vzory zadávání operativních údajů vozidla pro simulaci
brzdění a protokol o výpočtu

DATUM VYPOCTU : 18.11.1974

S - 720 (1)

SDUSTAVA S AKCNIM CLENEM-REGULACE 6 : DX-EPS+K1-L-K2
 TYP 2 - MOKRY MEKKY ASFALT (1 MM VODY)+DIAGON. PNEU

POCAT. RYCHLOST (KM/HOD): 50

BRZNY MOMENT : 0,8 DOBA NABEHU (SEC): 0,2

KROK VYPOCTU (SEC): 0,001

KROK TISKU (KE KROKU VYPOCTU): 1

POCATEK TISKU (KE KROKU TISKU) : 0

BUDEME UKLADAT NA MGP? (ANO=1, NE=0): 1

ZADEJ UDAJE PRO MGP :

G. KOTOUCE : 045 CISLO MECHAN.: 2 POCAT. ADR.: 0

KONST. REG.:

K1= 0,33 K2= 0,082 K3= 0 K4= 0

K5= 0,33 K6= 0,082 K7= 0 K8= 0

ZES. REG.:

K11= 90000 K12= 0 K13= 0

K14= 90000 K15= 0 K16= 0

CAS. KONST. AC (SEC) :

T1= 0,02 T2= 0,04 T3= 0,02 T4= 0,04 TD1 (KE KROKU VYPOCTU)= 5

T5= 0,02 T6= 0,04 T7= 0,02 T8= 0,04 TD2 (KE KROKU VYPOCTU)= 5

POCET HODNOT = 2389 PRVNI VOLNA ADR. NA MGP : 43302

MOZ DP SE ZAHLAVIM DO SNI 1-PUSK

ZAHLAVI TABULKY ULOZENO = OBSAZENO BUNEK : 195

SDUBOR JE ULOZEN NA MGP : 2 OD ADRESY : 0

POCET FUNKCI VE VYBERU (MAX 12) : 10

ZVOL FUNKCE (1-12) : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

KROK VYBERU (VZHLEDEM K ULOZENYM VETAM) : 10

POCATEK VYBERU : 0

POCET VYBRANYCH HODNOT : 239

SDUBOR JE ULOZEN NA MGP : 2 OD ADRESY : 0

POCET FUNKCI VE VYBERU (MAX 12) : 8

ZVOL FUNKCE (1-12) : 1 2 3 4 5 8 9 10

KROK VYBERU (VZHLEDEM K ULOZENYM VETAM) : 10

Y MIN= -0,0287 Y MAX= ,8000

MERITKO Y MIN= -0,03 Y MAX= 0,8 RAD= 1

POCET VYTISTENYCH RADKU GRAFU : 239

DATUM VÝPOČTU : 18.11.1974

S = 720 (1)

SOUSTAVA S AKČNÍM ČLEMEM-REGULACE 6 : DX-EPS+K1.L-K2

Typ 2 - MOKRY MEKKY ASFALT (1 MM VODY)+DIAGON. PNEU

POČET. RYCHLOST (KM/HOD): 50

BRZDNÝ MOMENT : 0,8 DOBA NABĚHU (SEC): 0,2

KROK VÝPOČTU (SEC): 0,001

KROK TISKU (KE KROKU VÝPOČTU): 1

POČATEK TISKU (KE KROKU TISKU) : 0

BUDEME UKLADAT NA MGP? (ANG=1, NE=0): 1

ZADEJ ÚDAJE PRO MGP :

Č. KOTOUCE : 045 ČÍSLO MECHAN.: 2 POČET. ADR.: 0

KONST. REG.:

K1= 0,33 K2= 0,082 K3= 0 K4= 0

K5= 0,33 K6= 0,082 K7= 0 K8= 0

ZES. REG.:

K11= 90000 K12= 0 K13= 0

K14= 90000 K15= 0 K16= 0

CAS. KONST. AC (SEC) :

T1= 0,02 T2= 0,04 T3= 0,02 T4= 0,04 TD1 (KE KROKU VÝPOČTU) = 5

T5= 0,02 T6= 0,04 T7= 0,02 T8= 0,04 TD2 (KE KROKU VÝPOČTU) = 5

POČET HODNOT = 2369 PRVNÍ VOLBA ADR. NA MGP : 43302

VLOŽ OP SE ZAHĚLAVÍM DO SNI 1-PUSK

ZAHĚLAVÍ TABULKY ULOŽENO - OBSAŽENO SUNEK : 195

SOUBOR JE ULOŽEN NA MGP : 2 OD ADRESY : 0

POČET FUNKCÍ VE VÝBERU (MAX 12) : 10

ZVOL FUNKCE (1-12) : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

KROK VÝBERU (VZHLEDEM K ULOŽENÝM VĚTAM) : 10

POČATEK VÝBERU : 0

POČET VYBRANÝCH HODNOT : 239

SOUBOR JE ULOŽEN NA MGP : 2 OD ADRESY : 0

POČET FUNKCÍ VE VÝBERU (MAX 12) : 8

ZVOL FUNKCE (1-12) : 1 2 3 4 5 6 9 10

KROK VÝBERU (VZHLEDEM K ULOŽENÝM VĚTAM) : 10

Y MIN= -,0257 Y MAX= ,0000

MERITKO Y MIN= -0,03 Y MAX= 0,8 RAD= 1

POČET VYTISTENÝCH RADKŮ GRAFU : 239

DATUM VÝPOČTU : 1.7.1981.☉

LETADLO=BRZDA K-36-1200 - PŘEDNÍ CENTRAZ
 SOUSTAVA S AKČNÍM ČLENEM=REGULACE 6 : DX=EPS+K1.L-K2
 TYP 2 - MOKRY MEKKY ASFALT (1 MM VODY).DIAGON. PNEU

POČAT. RYCHLOST (KM/HOD): 50
 BRZDNÝ MOMENT : 1 DOBA NABĚHU (SEC): 0,5

KROK VÝPOČTU (SEC): 0,001
 KROK TISKU (KE KROKU VÝPOČTU): 10
 POČATEK TISKU (KE KROKU TISKU) : 0
 BUDEME UKLADAT NA MGP? (ANO=1,NE=0): 1
 ZADEJ ÚDAJE PRO MGP :

C. KOTOUCE : 054 CÍSLA MECHAN.: 9 POČAT. ADR.: 1

KONST. REG.:
 K1= 0 K2= 0 K3= 0 K4= 0
 K5= 0,1759 K6= 0,0439 K7= 0 K8= 0

ZES. REG.:
 K11= 0 K12= 0 K13= 0
 K14= 10000 K15= 0 K16= 0

CAS. KONST. AC (SEC) :
 T1= 1 T2= 2 T3= 3 T4= 4 TD1 (KE KROKU VÝPOČTU)= 0
 T5= 0,0165 T6= 0,01061 T7= 0,0106 T8= 0,0095 TD2 (KE KROKU VÝPOČTU)= 30

POČET HODNOT = 416 PRVNÍ VOLNÁ ADR. NA MGP : 7789

VLŮZ DP SE ZAHĽAVIM DO SNÍ 1-PUSK

ZAHĽAVÍ TABULKY ULOŽENO - OBSAŽENO BUNEK : 200

SÚBOR JE ULOŽEN NA MGP : 9 OD ADRESY : 1

POČET FUNKCI VE VÝBERU (MAX 12) : 8
 ZVOL FUNKCE (1-12) : 11 12 13 14 15 18 9 10

KROK VÝBERU (VZHLÉDEM K ULOŽENÝM VETAM) : 1
 Y MIN= -,2649 Y MAX= 1,000
 MERITKO Y MIN= -,27 Y MAX= 1 RAD= 1

POČET VYTISTENÝCH RADKU GRAFU : 416

DATUM VÝPOČTU : 28 .4.1983.⊕

LETADLO-BRZDA K-36-1200 - PŘEDNÍ CENTRAŽ-19.8.1982
 SOUSTAVA S AKČNÍM ČLENNÝM REGULÁČE 6 : DX-EPS-K1.1-K2
 TYP 2 - MOKRÝ MĚKKÝ ASFALT (1 MM VODY)+DIAGON. PNEU

POČAT. RYCHLOST (KM/HOD): 50
 BRZDNÝ MOMENT : 1 DOBA NABĚHU (SEC): 0,5

KROK VÝPOČTU (SEC): 0,001
 KROK TISKU (KE KROKU VÝPOČTU): 2
 POČATEK TISKU (KE KROKU TISKU) : 0
 BUDEME UKLADAT NA MGP? (ANO=1, NE=0): 1
 ZADEJ ÚDAJE PRO MGP :
 C. KOTOVICE : 035 CÍSLA MECHAN.: 8 POČAT. ADR.: 46000

KONST. REG.:
 K1= 0 K2= 0 K3= 0 K4= 0
 K5= 0,1759 K6= 0,033 K7= 0 K8= 0

ŽES. REG.:
 K11= 0 K12= 0 K13= 0
 K14= 10000 K15= 0 K16= 0

CAS. KONST. AC (SEC) :
 T1= 1 T2= 2 T3= 3 T4= 4 TD1 (KE KROKU VÝPOČTU)= 0
 T5= 0,0053 T6= 0,0047 T7= 0,016 T8= 0,0106 TD2 (KE KROKU VÝPOČTU)= 18

POČET HODNOT = 383 PRVNÍ VOLNÁ ADR. NA MGP : 53194

VLOŽ DP SE ZÁHLAVÍM DO SNÍ 1-PUSK

ZÁHLAVÍ TABULKY ULOŽENO - OBSAŽENO BUNEK : 202

SOUBOR JE ULOŽEN NA MGP : 8 OD ADRESY : 46000

POČET FUNKCÍ VE VÝBERU (MAX 12) : 7
 ZVOL FUNKCE (1-12) : 11 12 13 14 16 9 10

KROK VÝBERU (VZHLÉDEM K ULOŽENÝM VETAM) : 1
 Y MIN= -,1575 Y MAX= 1,000
 MERITKO Y MIN= -,2 Y MAX= 1 RAD= 1

POČET VYTISTĚNÝCH ŘÁDKŮ GRAFŮ : 383

Příloha D

Vzory vstupních dat pro tisk tabulek vypočtených hodnot

Příloha E

Vzory vstupních dat pro tisk grafických průběhů
sledovaných veličin

1	EPS 1	OMEGA1	LAMBDA1	F1	DX1	P1	Y1	BV	VV⊕
2	EPS 2	OMEGA2	LAMBDA2	F2	DX2	P2	Y2	BV	VV⊕

E - 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
MB1	EPSILON1	OMEGA1	LAMBDA1	F1	Y1	BV	VV	*VV⊕

1	2	3	4	5	6	7	8	9
MB2	EPSILON2	OMEGA2	LAMBDA2	F2	Y2	BV	VV	*VV⊕

1	2	3	4	5	6	7	8
MB1	EPSILON1	OMEGA1	LAMBDA1	F1	Y1	BV	VV⊕

1	2	3	4	5	6	7	8
MB2	EPSILON2	OMEGA2	LAMBDA2	F2	Y2	BV	VV⊕

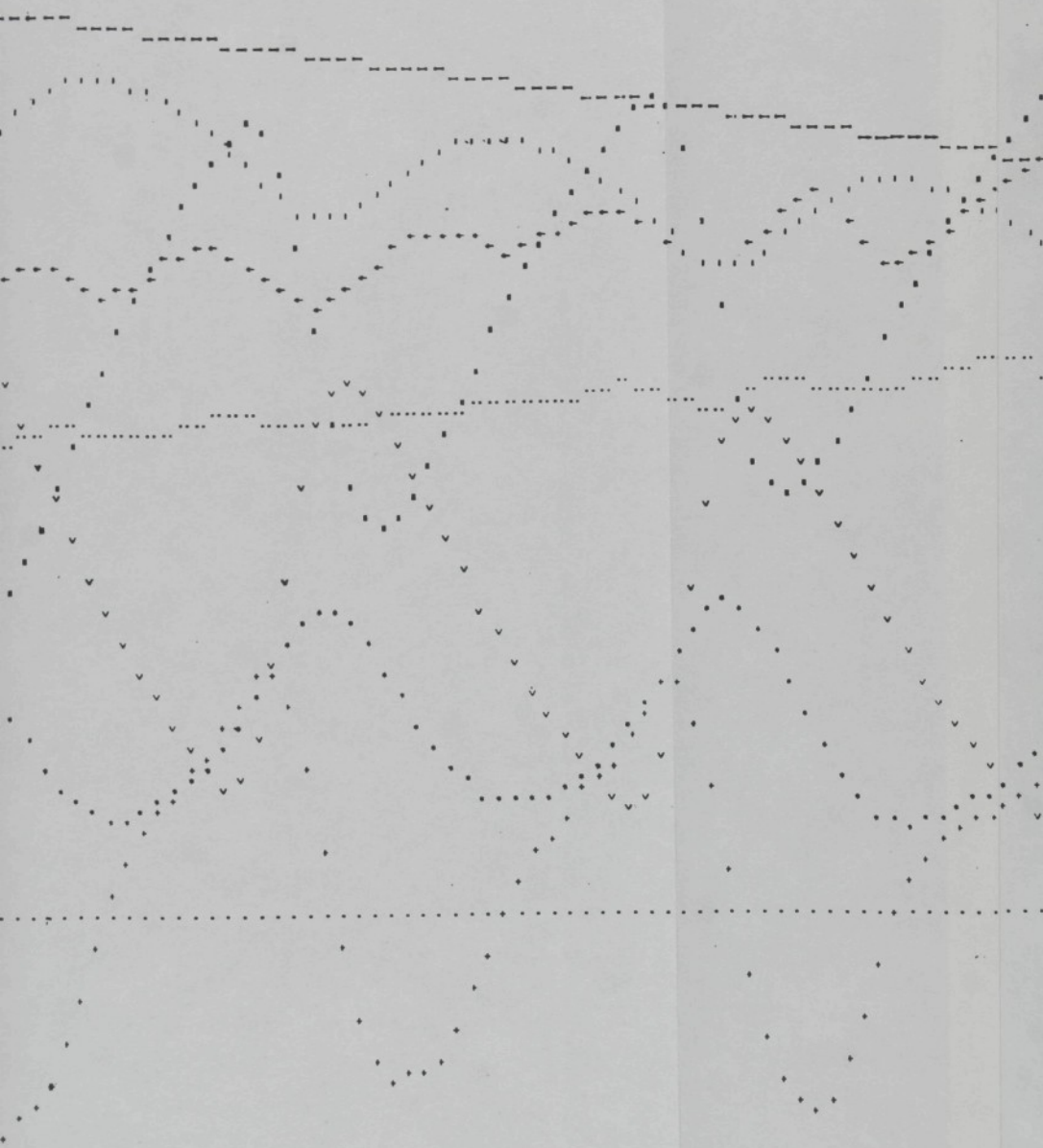
1	2	3	4	5	6	7
MB2	EPSILON2	OMEGA2	LAMBDA2	DX2	BV	VV⊕

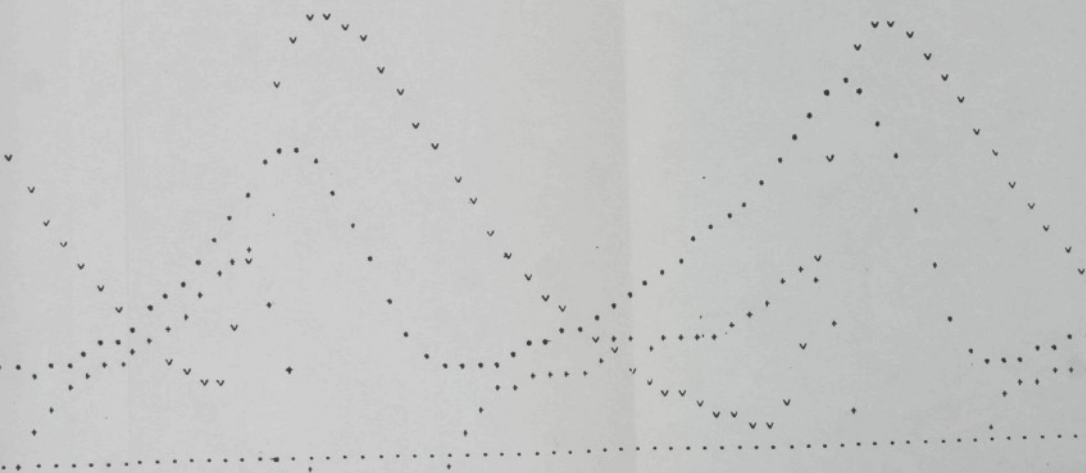
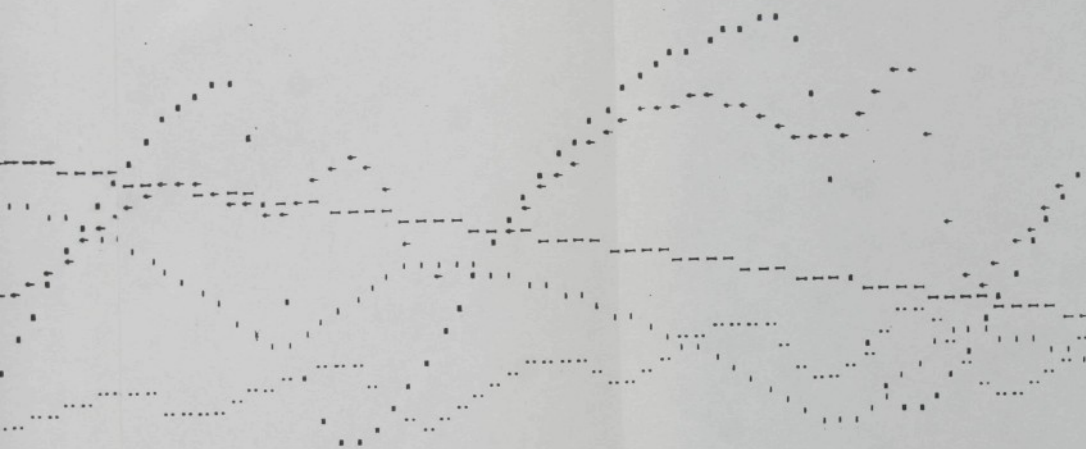
Příloha F

Ukázka tabulky vypočtených hodnot sledovaných veličin
brzdného procesu

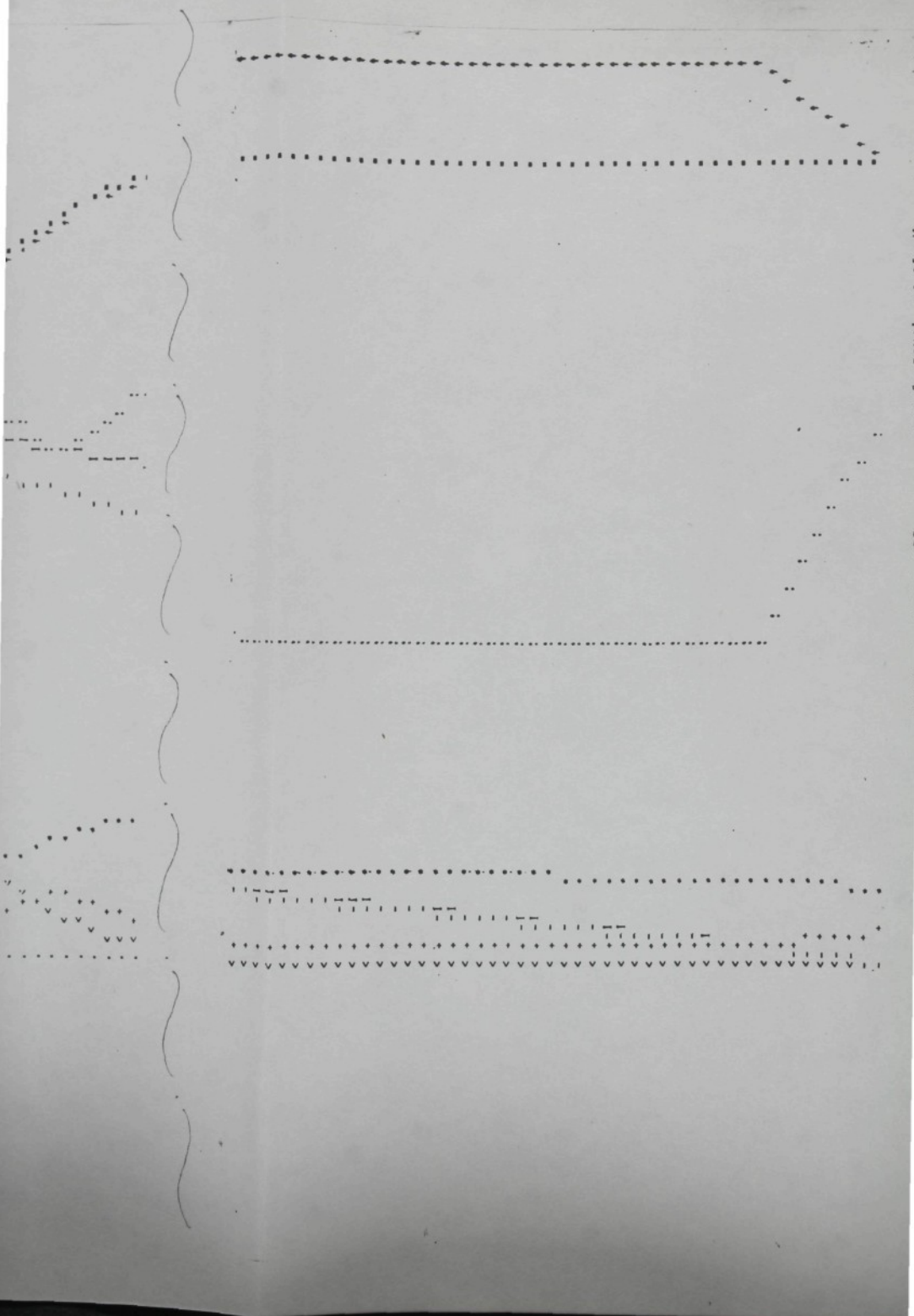
Příloha G

Ukázka grafických průběhů sledovaných veličin vozidla





G-1



А У Т О М А Т И З А Ц И Я С Т Р Е Л К О В Ы Х С И С Т Е М

СИМУЛЯТОР БРОЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СИЛЫ НА ЦЕЛЕНИЕ ПОЛТАВЫ МНСВ 20-ВЕРЗЕ 7

Тип модели : 5 - 720 (1)

ДАТА ВЫПУСКА : 18.11.1974.
ТРЕБОВАНИЯ : ТУП 2 - МОНЕТЫ ИЛИ ПУЛЫ
ВАРИАНТЫ : СОУСТАВ С АНАЛИЗом СЛУЖЕБНО-РЕГУЛИРОВАНИЯ : УКАЗЫВАЮЩИЕ : УКАЗЫВАЮЩИЕ : УКАЗЫВАЮЩИЕ

ПРОЦЕДУРА : 50 КИЛОГ
ПРОЦЕДУРА : 0,80 ПРОЦЕДУРА : 0,2 СР

КОЭФФИЦИЕНТЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ :
K1= 0,3000 K2= 0,0000 K3= 0,0000 K4= 0,0000 K5= 0,3000 K6= 0,0000 K7= 0,0000 K8= 0,0000
K9= 0,0000 K10= 0,0000 K11= 0,0000 K12= 0,0000 K13= 0,0000 K14= 0,0000 K15= 0,0000 K16= 0,0000

КАС. КОЭФ. АС (СР) : 11= 0,020 12= 0,040 13= 0,020 14= 0,040 15= 0,020 16= 0,040 17= 0,020 18= 0,040
ПРОЦЕДУРА : 2000000 СИГНАЛЫ : 2 АС (СР) : 11= 0,020 12= 0,040 13= 0,020 14= 0,040 15= 0,020 16= 0,040 17= 0,020 18= 0,040
РЕГ. ПОЗНАН АС : 17= 1,00 18= 0,72

КОЭФ. ВЫПУСКА : 0,0010 СР

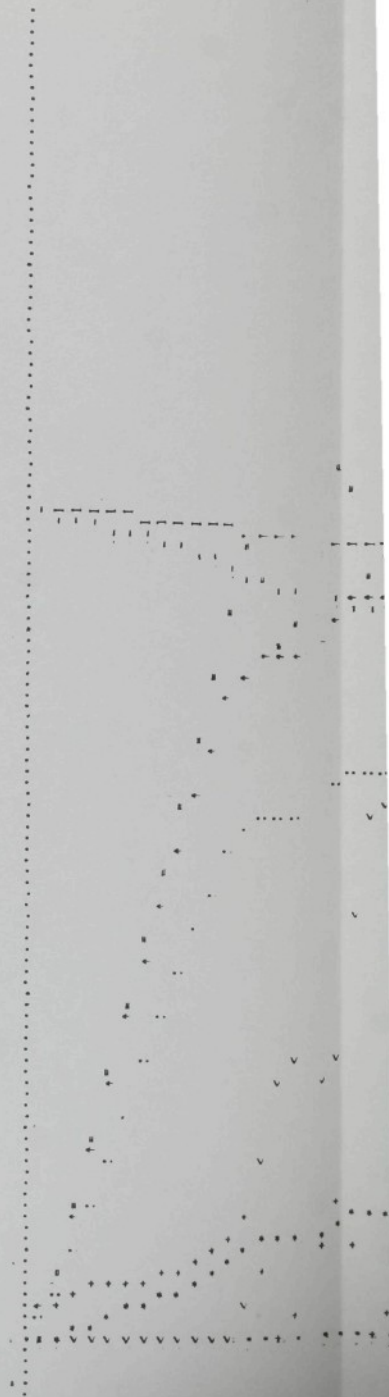
КОЭФ. ФУНКЦИИ :

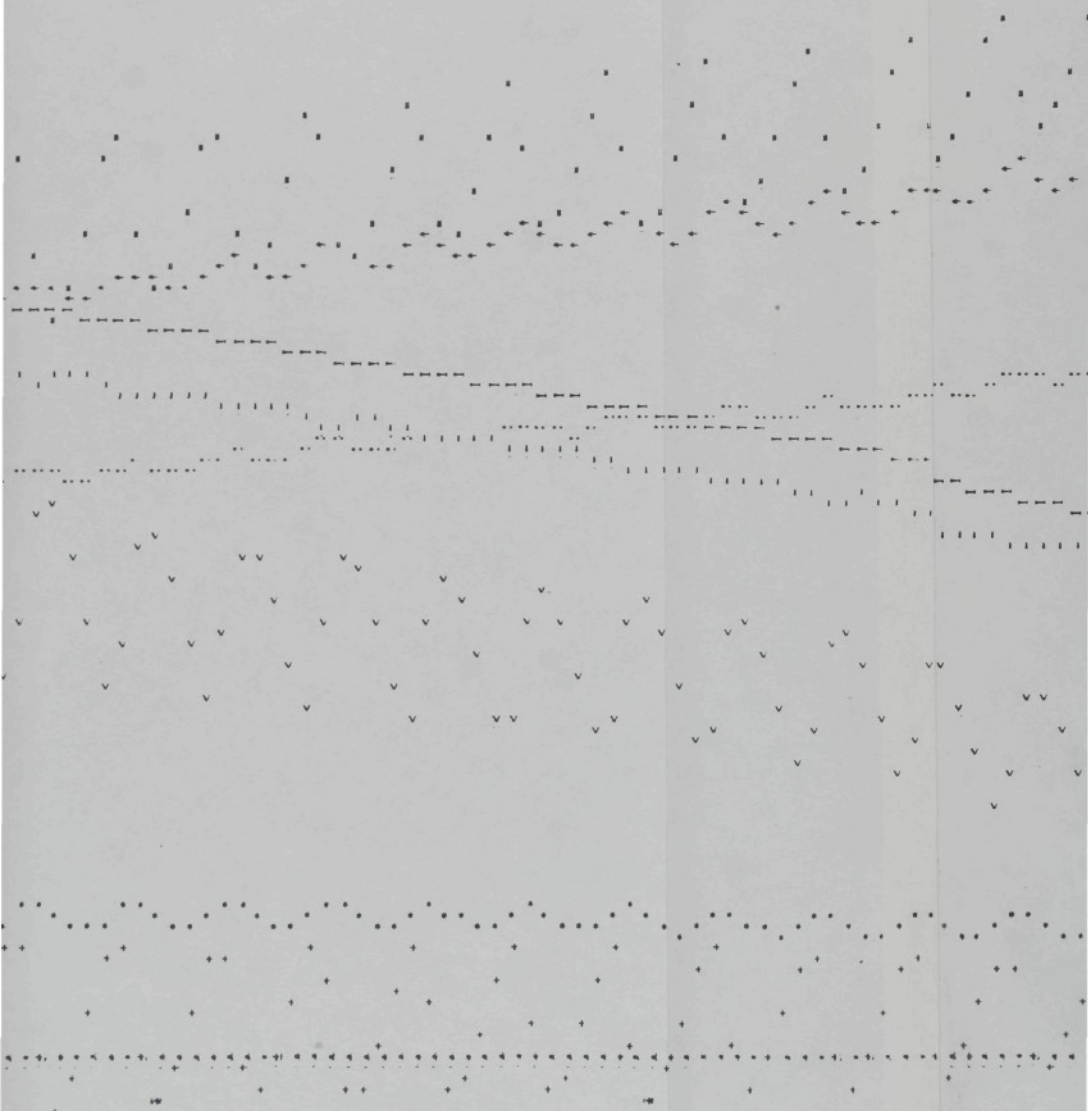
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16
M81 EPCILON1 OMEGA1 LAMBDA1 F1 Y1 FV W

ПРОЦЕДУРА : 2000000 СИГНАЛЫ : 2 АС (СР) : 11= 0,020 12= 0,040 13= 0,020 14= 0,040 15= 0,020 16= 0,040 17= 0,020 18= 0,040
ПРОЦЕДУРА : 2000000 СИГНАЛЫ : 2 АС (СР) : 11= 0,020 12= 0,040 13= 0,020 14= 0,040 15= 0,020 16= 0,040 17= 0,020 18= 0,040

УКАЗЫВАЮЩИЕ : 0,0300

УКАЗЫВАЮЩИЕ : 0,0000



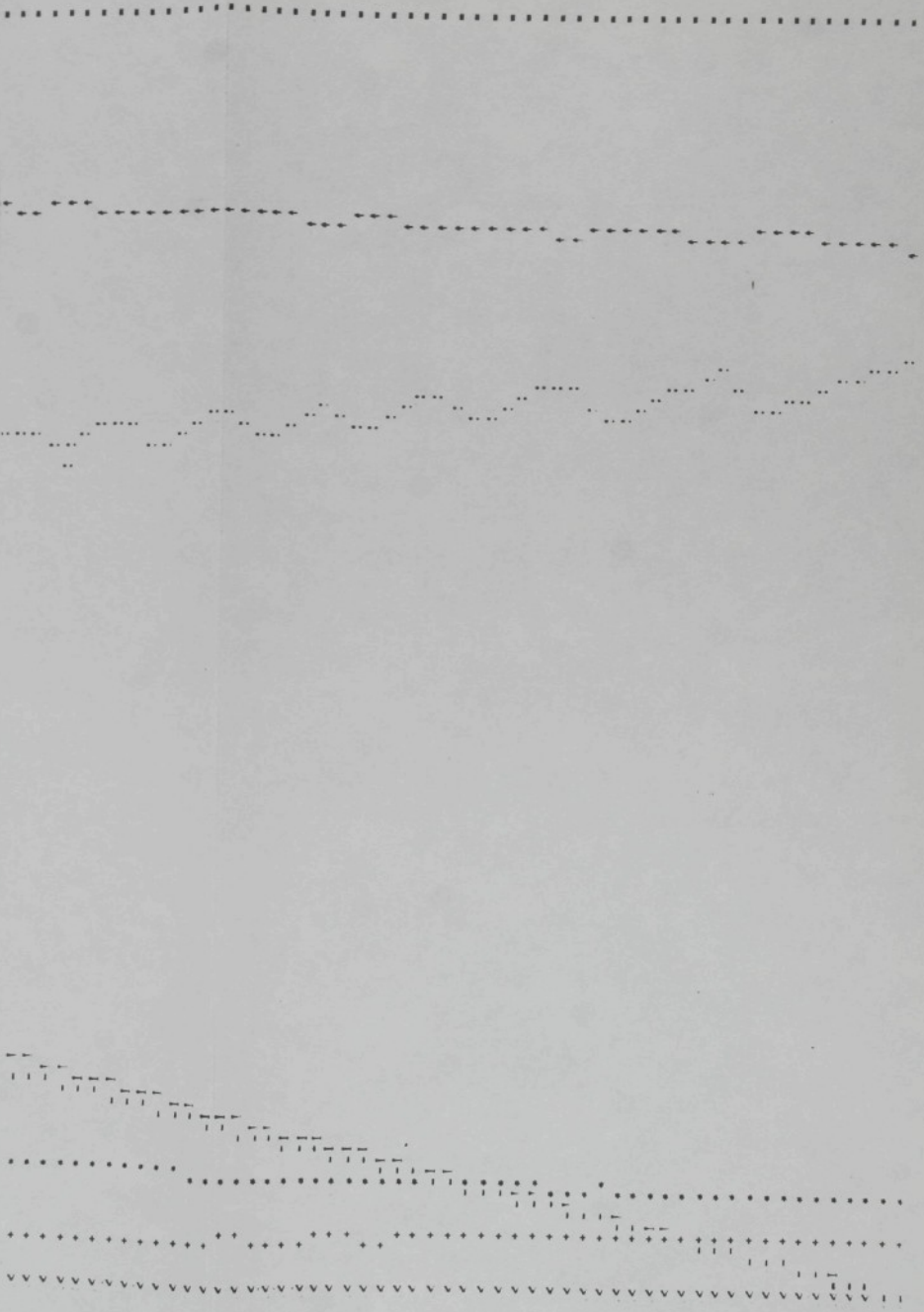




РДТНА (РДН): 18,86 М

ОКОНЧИТЕЛЬНО: 2,808 SEC

РЕЗУЛЬТАТЫ: 0,000 SEC



Příloha H

Výpis poslední verze programu simulace brzdění vozidla
v jazyce MAT-4

::KVETEN 1974.
 ::UKGL K3-62042 @AUTOBRZDY@
 ::MINSK 22-AKCHN CLEN CISTICOVE-DOPRAVNI ZPOZDENI AC-PID REGULATOR
 ::PROGRAM P 0160S-VERZE 7-SIMULACE BRZDENI AUTOMOBILU S REGULATOREM BRZDNE SILY
 ::TISK PRUBEZNE + UKLADANI NA MGP 112, OD ADR 110 (PO 200 HODNCTACH)
 ::KONSTANTY K1-K8, K11-K18

CELA 1(39):J(3):N(1):M(3):U(1)
 RAC X(12):Y(8):Z(14):L(20):V(35):F(335):D(25):S(3600):C(42):R(4):Q(8):W(6):B(14)
 RAC A(24):P(8):K(18):T(8):H(201)
 RUN RTISK:ALFA:EXP:MGP
 REF 85

1)KLIC 100:2) ::DATUM
 SKOK NA 3
 2)SNI 4 DER 4 RAD 3
 TEXT DATUM VYPOCTU : @ VST D10
 RAD

3)SNI 1 DER 4 RAD ::PARAMETRY VOZIDLA

VSTUP 121:15

VSTUP 121

CTI X*X1*X2

X3=X1-X2

CTI A5*A6*A7*A8

CTI X4*X5*X6

CMKL 1-0:1:..9

CTI A161

CPA 1

CTI Q1*Q2*Q3*Q4

::NORMY

Q5-Q2/A5

Q6-Q2/A7

Q7-Q4/A6

Q8-Q4/A8

X7=X/2 X7=X7/X1

::KONSTANTY VOZIDLA

X8=X6/9,81 X8=X8.X7

A1=X7.X3 A1=A1.A5

A2=X7.X2 A2=A2.A7

A3=X8.A5

A4=X8.A7

A8=9,81/X1

A10=A9.X2

A8=A9.X3

A11=X5/X1

A12=X7.X3 A12=A12.X4

A13=X8.X4

A14=X7.X2 A14=A14.X5

A15=X8.X5

A17=A17.Q4

A18=A18.Q4 A18=A18/A16

VSTUP 121

RAD

RUD 85 ::TYP REGULACE (INFORMACNI TEXT)

MZV 0

CMKL 1-1:1:..24

MZV A1

CPA 1

MZV 0

4JSNI 2 DER 4 RAD ::CTENI PROKLUZ. CHARAKT.
VSTUP D15:15
VSTUP D15
CTI NPM
N1=N-1
M1=M-1
CYKL 1=0:1:..M
CTI L1
LI=L1.0,01
CPA I
CYKL 1=0:1:..M
CTI VI
CPA I
J=N,M
CYKL 1=0:1:..J
CTI FI
FI=FI.0,0001
CPA I
VSTUP D15
RAD

5JSNI 4 DER 4 RAD
TEXT POCAT. RYCHLOST (KM/HOD): ⊕ CTI R2 RAD
JELI R2 SKOK NA 5:5:0
X=R2/3,6
JELI X:VM1 SKOK NA 0:0:5
TEXT BRZONY MOMENT : ⊕ CTI B4 B3.B4.04
MEZ 3
TEXT DOBA NABEHU (SEC): ⊕ CTI C1 RAD
SKOK NA 7
⊕TEXT RYCHL. JE VETSI NEZ VMAX U PROKLUZ. CHARAKT.⊕
RAD
SKOK NA 5

7)SNI 4 DER 4 RAD

TEXT KROK VYPOCTU (SEC): ⊕ CTI C3

RAD

TEXT KROK TISKU (KE KROKU VYPOCTU): ⊕ CTI 15

RAD

TEXT POCATEK TISKU (KE KROKU TISKU): ⊕ CTI 17

17-15,17

RAD

TEXT BUDEME UKLADAT NA MGP? (ANC=1,NE=0): ⊕ CTI 18 115-18 116-200 117-115,116

RAD

JELI 18 SKOK NA 8:8:0

TEXT ZADEJ UDAJE PRO MGP :⊕ RAD

TEXT C. KOTOUCE : ⊕ CTI 113 MEZ 5

TEXT CÍSLA MECHAN.: ⊕ CTI 112 MEZ 5

TEXT POCAT. ADR.: ⊕ CTI 110

RAD

8)SNI 4 DER 4 RAD

TEXT KONST. REG.: ⊕

RAD

CYKL J=0:4:..2

CYKL I=1:1:..4

ZNT 62 ZNT 130(1+J) ZNT 15

ZNT 4

CTI K(1+J)

CPA I

RAD

CPA J

RAD

HDNOTA I(31:39)=29:25:16:10:1:21:28:12:3

9)SNI 4 DER 4 RAD

TEXT ZES. REG.:⊕ RAD

TEXT K11- ⊕ CTI K11 TEXT K12- ⊕ CTI K12 TEXT K13- ⊕ CTI K13

K17-K12/C3 RAD

TEXT K14- ⊕ CTI K14 TEXT K15- ⊕ CTI K15 TEXT K16- ⊕ CTI K16

K18-K15/C3 RAD

10)D2-B3,C3 ::KONSTANTY VYPOCTU

D2-D2/C1

C=C3

O=C3/2

C5=A6/A5

O5=A8/A7

O3=C3,A5

C10=C3,A7

POD 71

::KONST.PRO AC

11)14-1 ::ZHLAVI PRO ULOZENI VA MGP A PRO UCHOVANI KRITERIALNICH VELICIN

SKOK VA 47

12)14-2

MLIC 2:47)

::DER 3 NEBO DER 2

14-3

47) DER 14
 RAD 5
 SEPA 1
 MEZ 15
 TEXT AUTOMATIZACNI STREDISKO VSST LIBERE C
 RAD 3
 TEXT SIMULACE BRZDENI AUTOMOBILU S REGULATOREM BRZNE SILY NA CISLICOVEM POCITACI MINSK 22-VERZE 7
 RAD 2
 TEXT TYP VOZIDLA : * VYSTUP 121
 RAD
 MEZ 55
 TEXT DATUM VYPOCTU : * VYSTUP D10
 RAD
 MEZ 55
 TEXT TRECÍ DVOJICE : * VYSTUP D15
 RAD
 MEZ 55
 TEXT VARIANTA : * POD 85
 RAD
 TEXT POCAT. RYCHLOST : * TISK R2,3:0 TEXT KM/HOD
 RAD
 TEXT BRZDNY MOMENT : * TISK B4,1:2 MEZ 5 TEXT DOBA NABEHU : * TISK C1,1:1 TEXT SEC
 RAD 2
 TEXT KONSTANTY ROVNICE REGULATORU : * RAD
 CYKL 1-1:1:.8
 ZNT 62 ZNT 1301 ZNT 15
 TISK K1,2:5
 MEZ 2
 CPA 1
 RAD
 TEXT ZESILENI REGULATORU : * RAD
 TEXT K11- * TISK K11,5:3 MEZ 2 TEXT K12- * TISK K12,2:5 MEZ 2 TEXT K13- * TISK K13 MEZ 5
 TEXT K14- * TISK K14,5:3 MEZ 2 TEXT K15- * TISK K15,2:5 MEZ 2 TEXT K16- * TISK K16
 RAD 2
 TEXT CAS. KONST. AC (SEC) : *
 CYKL 1-1:1:.8
 ZNT 33 ZNT 1301 ZNT 15
 TISK T1,1:3 MEZ 2
 CPA 1
 RAD
 X-NORM M2 X=X.C3
 X1-NORM M3 X1=X1.C3
 TEXT DOPRAVNI ZPOZDENI SIGNALU Z AC (SEC) : TD1- * TISK X,1:3 MEZ 3 TEXT TD2- * TISK X1
 RAD
 TEXT REG. ROZSAH AC : A17- * X-A17/Q4 TISK X,1:2 MEZ 2 TEXT A18- * X-A18/Q4 TISK X
 RAD 2
 TEXT KROK VYPOCTU : * TISK C3,1:4 TEXT SEC
 RAD 2
 ZNT 5
 TEXT CAS MB 1 BV VV EPS 1 OMEGA1 EPS 2 OMEGA2 LAMBDA1 LAMBDA2
 TEXT DX1 P1 Y1 DX2 P2 Y2
 RAD
 CYKL 1-0:0:.126
 ZNT 15
 CPA 1
 ZNT 22
 RAD
 JELI 14:1 SKOK NA 0:46:0

Z) JELI 18 SKOK NA 21:21:0
111=110+300
MGP 112 HLEDEJ ADR 111
Z1) 11=0 ::POCATECNI HODNOTY PROMENNYCH

12=0
16=17
19=0
R= R2/3,6
R3=0
R4=1/3,6 ::PRO LETADLO R4=15/3,6

B=0
B9=0 B13=0
B10=0 B14=0
CYKL 1=0:1:15

Z1=0

OPA 1

W=F

W3=F W4=F

W5=0 W6=0

Y1=0 Y2=0

Y5=0 Y6=0

D4=0 D5=0

D8=0 D9=0

CYKL 1=0:1:202

M=0

OPA 1

SKOK NA 34 ::VYPOCET V NULE

Z7) 11=11+1 ::VYPOCET

Z1=Z3 Z2=Z4

W1=W3 W2=W4

P3=B

P5=B5 P6=B6

D5=D4 D7=D5

R1=R

W=B,C3

R=R1=X ::RYCHL. PREDBEZNE

JELI R SKOK NA 32:32:0

POD 72 ::VYPOCET YAC

POD 26 ::MN1,MN2-NASLAPOVY MOMENT

POD 22 ::MB1,MB2-SKUT. BRZDNY MOMENT

34) CYKL U=0:1:2

::ITERACE

U1=U+35

Z=Z1U

JELI Z:1 SKOK NA 58:0:0

POD U1

JELI P SKOK NA 54:54:0

64) P1=P P2=Z

Z=Z+0,05

POD U1

I9=I9+1

JELI P:P1 SKOK NA 0:54:64

JELI P SKOK NA 0:54:64

Y=Z

60) Z=Y+P2 Z=Z/2

POD U1

I9=I9+1

JELI P SKOK NA 38:54:0

P2=Z P1=P

SKOK NA 60

56) Z=Z+C

JELI Z:1 SKOK NA 37:37:0

Z=1

37) POD U1

P1=P

P2=Z

Z=Z-C Z=Z-C

JELI Z SKOK NA 0:38:38

Z=0

38) POD U1

X=P1-P

X1=P2-Z

A=X1/X

51) P1=P

D=A.F

D1=ABS D

JELI D1:0,0001 SKOK NA 54:54:0

Z=Z+0

JELI Z SKOK NA 0:53:52

Z=0

SKOK NA 53

52) JELI Z:1 SKOK NA 53:53:0

Z=1

53) POD U1

I9=I9+1

JELI Z:1 SKOK NA 59:0:0

JELI P SKOK NA 54:54:51

59) JELI Z SKOK NA 0:0:51

JELI P SKOK NA 51:0:0

54) Z3U=Z

:: (66) 0 - PUSTIT V PRIPADE, ZE SE ITERACE ZACYKLI - KLIC 1 ZAPNUT ..

W0U=W

:: (NELZE VYROVNAVAT MOMENTY NA NAPRAVE V POZADOVANE PRESNOSTI 0,0001)

OPA U

POD 39
 X-Y-B
 XI-ABS X
 VYM B:Y ::BV
 JELI 11 SKOK NA 33:33:0
 X-B-P3
 X-X-C4
 R-R1-X ::RYCHLOST
 JELI R SKOK NA 32:32:0
 3) JELI X1:0,001 SKOK NA 28:28:0
 JELI 19:100 SKOK NA 34:34:0 ::POJISTKA ITERACE BV
 JELI 19:200 SKOK NA 0:0:28
 X-B-Y
 B-X/2
 SKOK NA 34
 2) JELI Z3:1 SKOK NA 17:0:0
 B11-0
 SKOK NA 18
 17) X-1-Z3
 X-X-R
 B11-X/A5 ::OMEGA 1
 8) JELI Z4:1 SKOK NA 19:0:0
 B12-0
 SKOK NA 56
 9) X-1-Z4
 X-X-R
 B12-X/A7 ::OMEGA 2
 56) POD 50 ::DX
 P1=0 P2=0
 JELI 11 SKOK NA 57:57:0
 X-R1-R
 X-X-C4
 R3-R3-X ::DRAHA
 X-D4-D6 ::REGULATOR PID
 X-X-C4
 D8-D8-X ::SUMA DX1,DT
 X-D5-D7 X-X-C4
 D8-D9-X ::SUMA DX2,DT
 X-D4-D6 X-X-K17
 P1-D4-X
 X-K13,D8
 P1-P1-X P1-P1,K11 ::P1
 X-D5-D7 X-X,K18
 P2-D5-X
 X-K16,D9
 P2-P2-X P2-P2,K14 ::P2
 POD 62 ::KRITERIUM KVALITY REG.
 57) MZV 11
 MZV 19
 I9-0
 POD 45 ::TISK
 SKOK NA 27
 32) JELI 18 SKOK NA 48:48:0 ::KONEC VYPOCTU
 MGP 112 ZAPIS Z S:12
 MGP 112 ADRESA DO 111
 MGP 112 HLEDEJ ADR 110

40) J-14
 40) DER J RAD 2
 13-16-17 13-13/15
 X-NOR 11 T=X.C3 ::CAS
 X-3,6.T R1=R2/X ::'BV'
 TEXT OKAMZIK ZASTAVENI :⊕ TISK T,2:3 TEXT SEC⊕
 MEZ 10
 TEXT BRZDNA DRAHA :⊕ TISK R3,3:2 TEXT M⊕
 MEZ 10
 TEXT STREDNI ZPOMALENI 'BV':⊕ TISK R1,1:3 TEXT M/SEC*2⊕
 RAD 2
 TEXT POCET HODNOT :⊕ TISK 13,4
 JELI 18 SKOK NA 24:24:0
 RAD 2
 TEXT UDAJE O SOUBORU NA MGP:⊕
 RAD
 TEXT C. KOTOUCE :⊕ TISK 113,3 MEZ 5 TEXT CISLO MECHAN. :⊕ TISK 112,2 MEZ 5
 TEXT POCAT. ADR. :⊕ TISK 110,5 MEZ 5 TEXT PRVNI VOLNA ADR. :⊕ TISK 111,6
 24) RAD 5
 PDD 81 ::TISK KRITERIA
 JELI J:1 SKOK NA 62:62:0
 J-1
 SKOK NA 49
 62) DER 4
 RAD
 TEXT POCET HODNOT :⊕ TISK 13,4
 JELI 18 SKOK NA 25:25:0
 MEZ 5
 TEXT PRVNI VOLNA ADR. NA MGP :⊕ TISK 111,6
 RAD 2
 TEXT VLOZ DP SE ZAHNAVIM DO SNI 1-PUSK⊕
 25) RAD 2
 63) STOP ⊕77733331111
 JELI 18 SKOK NA 63:63:0
 MGP 112 HLEDEJ ADR 110
 SNI 1
 CYKL 1-0:1:200
 S1001-0
 CPA 1
 VSTUP S:5
 MONTR I:J
 S290-115 ::POCET FUNKCI
 S291-13 ::POCET HODNOT
 S292-C3 ::KROK VYPOCTU
 S293-15 ::KROK TISKU KE KROKU VYPOCTU
 S294-17 ::POCATEK TISKU KE KROKU VYPOCTU
 S296-T ::OKAMZIK ZASTAVENI
 S297-R3 ::BRZDNA DRAHA
 S298-R1 ::STREDNI ZPOMALENI
 S299-110 ::POC. ADR SOUBORU NA MGP
 MGP 112 ZAPIS Z S:300
 DER 4
 TEXT ZAHLAVI TABULKY ULOZENO - OBSAZENO BUNEK :⊕ TISK 1,3
 RAD 2
 SKOK NA 63

40) CYKL J=0:1:..M1

::POD 40-VYPOCET PRILNAVOSTI

JELI R:V1J SKOK NA 41:41:0

CPA J

41) D1=V1J-VJ

CYKL J1=0:1:..N1

JELI Z:L1J1 SKOK NA 42:42:0

CPA J1

42) J3=J.N

D=L1J1-LJ1

CYKL I=0:1:..2

 $X=F1(J1+J3)-F(J1+J3)$ $X=X/D$ $X1=Z-LJ1$ $X=X.X1$ $X31=X+F(J1+J3)$ $J3=J3+N$

CPA I

 $X=X4-X3$ $X=X/D1$ $X1=R-VJ$ $X=X.X1$ $X=X3.X$

::PRILNAVOST

VYCH

35) POD 40

::POD 35-MOMENTY NA PREDNI NAPRAVE

 $X=A3.B$ $X=A1.X$ $B1=X.W$

::MT1

 $X=1-Z$ $X=B.X$

JELI I1 SKOK NA 65:65:0

 $X1=Z-Z1$ $X1=X1.R$ $X1=X1/C3$ $X=X.X1$ 65) $B5=X.C5$

::MS1

 $B7=A13.B$ $B7=A12.B7$

::MV1

 $P=B1.B5$ $P=P.B7$ $P=P.B13$

VYCH

36) POD 40

::POD 36-MOMENTY NA ZADNI NAPRAVE

 $X=A4.B$ $X=A2.X$ $B2=X.W$

::MT2

 $X=1-Z$ $X=B.X$

JELI I1 SKOK NA 66:66:0

 $X1=Z-Z2$ $X1=X1.R$ $X1=X1/C3$ $X=X.X1$ 66) $B6=X.C6$

::MS2

 $B8=A15.B$ $B8=A14.B8$

::MV2

 $P=B2.B6$ $P=P.B8$ $P=P.B14$

VYCH

3) X=A9.W3 ::POD 39-VYPOCET 8
 X1=A10.W4
 X=X.X1
 X1=W3.W4
 X1=A11.X1
 X1=1-X1
 Y=X/X1
 WCH

45) JELI 11:17 SKOK NA 61:0:0 ::POD 45-TISK+UKLADANI TABULKY NA MGP
 JELI 11:16 SKOK NA 61:0:0
 I6=I6+I5
 X1=B13/Q4 X2=B14/Q4 ::MB
 X3=B5/Q4 X4=B6/Q4 ::EPSILON
 X5=B11/Q5 X6=B12/Q6 ::OMEGA
 X7=B/Q1 ::BV
 X8=R/Q2 ::VV
 KLIC 10:70) ::NEZADAN TISK
 X=NORM I1
 X=X.C3
 TISK X,2:3
 TISK X1,5*X7*X8*X3*X5*X4*X6*Z3*Z4*D4*P1*H*D5*P2
 SEPA 0
 TISK H101
 SEPA 1
 RAD

70) JELI 18 SKOK NA 61:61:0 ::UKLADANI NA MGP
 JELI 12:117 SKOK NA 0:30:30
 S2=X1 S1012=X2 ::MB
 S112=X3 S1112=X4 ::EPSILON
 S212=X5 S1212=X6 ::OMEGA
 S312=Z3 S1312=Z4 ::LAMBDA
 S412=W3 S1412=W4 ::F
 S512=D4 S1512=D5 ::DX
 S612=P1 S1612=P2 ::P
 S712=Y1 S1712=Y2 ::Y
 S812=X7 ::BV
 S912=X8 ::VV
 I2=I2+I15
 61) VYCH

30) MGP I12 ZAPIS Z S:117
 I2=0
 KLIC 20:31)
 SKOK NA 70
 31) STOP 757575
 SKOK NA 70

81) RAD

::POD 81-TISK KRITERIA KVALITY REGULACE

TEXT KRITERIA KVALITY REGULACE :@

RAD

TEXT -----@

RAD 3

X=NORM 114

X1=Z5/X X2=Z7/X X9=X1.X1 X2=X2-X9

X3=Z6/X X4=Z8/X X9=X3.X3 X4=X4-X9

X5=X.Q4 X7=X6.Q4

X8=Z13/X6 X10=Z11/X7 X5=X9.X9 X10=X10-X5

X11=Z14/X6 X12=Z12/X7 X5=X11.X11 X12=X12-X5

X5=W5/X X6=W6/X

X7=Z9/X X7=X7/C3 X7=X7/C3

X8=Z10/X X8=X8/C3 X8=X8/C3

TEXT 'L1'=@ TISK X1,1:5

TEXT ROZPTYL SL1=@ TISK X2,1:6

TEXT 'STREDNI KVADR. DELTA L1'=@ TISK X7,2:5

TEXT 'F1'=@ TISK X5,1:4

TEXT 'MB1'=@ TISK X9,1:5

TEXT ROZPTYL SMB1=@ TISK X10,1:6

RAD 3

TEXT 'L2'=@ TISK X3,1:5

TEXT ROZPTYL SL2=@ TISK X4,1:6

TEXT 'STREDNI KVADR. DELTA L2'=@ TISK X8,2:5

TEXT 'F2'=@ TISK X6,1:4

TEXT 'MB2'=@ TISK X11,1:5

TEXT ROZPTYL SMB2=@ TISK X12,1:6

RAD 3

CYKL 1=0:0:120 ZNT 24 OPA 1

RAD 5

VYCH

82) JELI R:R4 SKOK NA 83:83:0

::POD 82-VYPOCET KRITERIALNICH VELICIN KVALITY REGULACE

114=11

Z5=Z5.Z3 Z6=Z6+Z4

X=Z3.Z3 Z7=Z7+X

X=Z4.Z4 Z8=Z8+X

X=Z3=Z1 X=X.X Z9=Z9+X

X=Z4=Z2 X=X.X Z10=Z10+X

W5=W5.W3 W6=W6.W4

Z13=Z13.B13 Z14=Z14.B14

X=B13.B13 Z11=Z11+X

X=B14.B14 Z12=Z12+X

83) VYCH

26) JELI B9:B3 SKOK NA 0:83:83

::POD 26-NASLAPOVY MOMENT

B9=B9.D2 :MN1

B10=B9/A16 :MN2

JELI B9:B3 SKOK NA 83:83:0

B9=B3

B10=B3/A16

VYCH

22) ::POD 22-SKUT. BRZDNY MOMENT
 B13-A17.H ::MAC1
 B13-B9-B13 ::MB1-SKUT.
 JELI B13 SKOK NA 0:23:23
 B13=0
 23) B14-A18.H101 ::MAC2
 B14-B10-B14 ::MB2-SKUT.
 JELI B14 SKOK NA 0:83:83
 B14=0
 VYCH

71) SNI 4 DER 4 RAD ::POD 71-KONSTANTY AC-2, RAD, T1, T2-TD1, TD2-8.10.1973.
 TEXT CAS. KONST. AC (SEC) : Φ RAD

CYKL J=0:4:2

CYKL I=1:1:4

ZNT 33 ZNT 130(I+J) ZNT 15

ZNT 4

CTI T(I+J)

OPA I

I=J/4 I=1.1

TEXT TD Φ ZNT 130I TEXT (KE KROKU VYPOCTU) = Φ CTI M2(J/4)

RAD

OPA J

RAD

J=0 I=0

CYKL J1=0:0:2

CYKL I=1:2:2

T=T2I-T1I

X1=C3/T1I X1=EXP X1

X2=C3/T2I X2=EXP X2

X3=T2I/T X3=X3.X2 X=T1I/T X=X.X1 C12J=X3-X

C11J=1-C12J

X=X2.X1 C14J=X/T

X=T1I.T2I C13J=X.C14J

C15J=C14J

X3=T2I/T X3=X3.X1 X=T1I/T X=X.X2 C16J=X3-X

J=J+6

OPA I

I=4

J=J+8

OPA J1

MZV 0 MZV 0

CYKL J=0:20:2

CYKL I=0:1:12

MZV C11(I+J)

OPA I

MZV 0 MZV 0

OPA J

MZV 0 MZV 0

VYCH

72) CYKL I=0:1:2

::POD 72-REALIZACE AC-TD1,TD2-8,10,1973.

J=20,1

Y3I=Y1I

Y7I=Y5I

JELI P1I SKOK NA 0:0:78

P1I=A21I

JELI Y1I SKOK NA 76:76:0

73) P=P1I+A23I

X=C17J,P

X1=C18J,Y3I

X1=X,X1

X=C19J,Y7I

Y1I=X1,X ::Y+

X=C20J,P

X1=C21J,Y3I

X1=X,X1

X=C22J,Y7I

Y5I=X1,X ::Y+

JELI Y1I SKOK NA 0:75:76

Y1I=0

75) Y5I=0

76) P7I=P1I

CPA I

JELI M2 SKOK NA 67:67:0

::DOPRAVNI ZPOZDENI

CYKL I=0:1:M2

H=H1I

CPA I

67) HM2=Y1

JELI M3 SKOK NA 68:68:0

CYKL I=0:1:M3

H101I=H102I

CPA I

68) H101M3=Y2

WCH

78) JELI P1I:A19I SKOK NA 0:80:80

P1I=P1I-A21I

JELI Y7I SKOK NA 73:0:79

JELI P1I:P7I SKOK NA 73:76:0

79) P=P1I-A23I

X=C11J,P

X1=C12J,Y3I

X1=X,X1

X=C13,Y7I

Y1I=X1,X ::Y-

X=C14J,P

X1=C15J,Y3I

X1=X,X1

X=C16J,Y7I

Y5I=X1,X ::Y-

JELI Y1I:1 SKOK NA 76:75:0

Y1I=1

SKOK NA 75

80) P1I=A19I-A21I

JELI Y1I:1 SKOK NA 79:76:76

Příloha J

Výpis úprav podprogramů pro simulaci brzdění letadla

Z) JELI 18 SKOK NA 21:21:0 ::UPRAVY PODPROGRAMU PRO VERZI 7-LET (1.7.1981)

111-110-300

MGP 112 HLEDEJ ADR 111

21) 11=0 ::POCATECNI HODNOTY PROMENNYCH

12=0

16=17

19=0

R=R2/3,6

R3=0

R4=15/3,6 ::ODSTAVENI REGULATORU PRI RYCHLOSTI 15 KM/HOD

B=0

B8=0 B13=0

B10=0 B14=0

CYKL 1=0:1:15

Z=0

OPA 1

W=F

W3=F W4=F

W5=0 W6=0

Y1=0 Y2=0

Y5=0 Y6=0

D4=0 D5=0

D8=0 D9=0

CYKL 1=0:1:202

H1=0

OPA 1

SKOK NA 34 ::VYPOCET V NULE

45) JELI 11:17 SKOK NA 61:0:0

::POD 45-TISK+UKLADANI TABULKY NA MGP

JELI 11:16 SKOK NA 61:0:0

16=16+15

X1=B13/Q4 X2=B14/Q4 ::MB

X3=B5/Q4 X4=B6/Q4 ::EPSILON

X5=B11/Q5 X6=B12/Q6 ::OMEGA

X7=B/Q1 ::BV

X8=R/Q2 ::VV

KLIC 10:70) ::WEZADAN TISK

X=NORM 11

X=X,C3

TISK X,2:3

TISK X2,5*X7*X8*X3*X5*X4*X6*X3*Z4*D4*P1*F*D5*P2 ::TISK X2-MB2 (BRZDENA POUZE ZADNI NAPRAVA)

SEPA 0

TISK H101

SEPA 1

RAD

22) ::POD 22-SKUT. BRZDNY MOMENT

B13=0 ::MB1=0 (NEBRZDENA NAPRAVA)

Z3) B14-A13, H101 ::MAC2

B14=B10-B14 ::MB2-SKUT.

JELI B14 SKOK NA 0:93:83

B14=0

VYCH

Příloha K

Výpisy podprogramů definic regulační odchylky

5D) JELI R:R4 SKOK NA 29:29:0
X1=R,R

::POD 50-VYPOCET DX1,DX2

DNKL I=0:1:.2

J2.1
J1=4.1

X2=R,B51 X2=X2/A6J

X3=B111.B

X=X2-X3

JELI X SKOK NA 13:0:13

D4=1000 ::DX

SKOK NA 14

B) X2=X,C91

X=X31-W11 X=X,X1

X=X/X2

X=X-K1J1.W31

X=X4.Z31

D4=X4-X ::DX

14) CPA 1

VYCH

B) D4=0 ::POD 29-ODSTAVENI REGULATORU

D5=0

VYCH

85) TEXT SOUSTAVA S AKCNIM CLENEM-VYKONOVA REGULACE W-K1,M,L
VYCH

START 1

5D) JELI R:R4 SKOK NA 29:29:0
X=X3-K1

::POD 50-VYPOCET DX1,DX2

JELI X SKOK NA 0:13:13

D4=0

SKOK NA 14

B) D4=1000

14) X=X4-K5

JELI X SKOK NA 0:15:15

D5=0

SKOK NA 16

E) D5=1000

15) VYCH

B) D4=0 ::POD 29-ODSTAVENI REGULATORU

D5=0

VYCH

85) TEXT SOUSTAVA S AKCNIM CLENEM-REGULACE 5 : DX-L-K1
VYCH

START 1

5D) JELI R:R4 SKOK NA 29:29:0 ::POD 50-VYPOCET DX1,DX2
CYKL 1=0:1:2

J=4.1
%K1J.Z31
X1=851/Q4
%X1+X
D41=X-K2J ::DX
OPA 1
VYCH

Z)D4=0 ::POD 29-ODSTAVENI REGULATORU
D5=0
VYCH

85) TEXT SOUSTAVA S AKCNIM CLENEM-REGULACE 6 : DX-EPS+K1.L-K2
VYCH

START 1

5D) JELI R:R4 SKOK NA 29:29:0 ::POD 50-VYPOCET DX1,DX2
CYKL 1=0:1:2

J=2.1
J1=4.1
%851/A6J
%X-K1J1
JELI X SKOK NA 0:13:13
%Z31-K2J1
JELI X SKOK NA 0:13:13
D41=0
SKOK NA 14
13)D41=1000
%)OPA 1
VYCH

Z)D4=0 ::POD 29-ODSTAVENI REGULATORU
D5=0
VYCH

85) TEXT SOUSTAVA S AKCNIM CLENEM-REGULACE 7 : TELDQX
VYCH

START 1

5) JELI R:R4 SKOK NA 29:29:0 ::POD 50-VYPOCET DX1,DX2
 CYKL 1=0:1:2
 J4.1
 X=Z31-Z11 X=Y/C3 X=X.K1J
 X=Z31+Y
 D41=X-K2J ::DX
 CPA 1
 VCH

2) D4=0 ::POD 29-ODSTAVENI REGULATORU
 D5=0
 VCH

85) TEXT SOUSTAVA S AKCNIM CLENEM-REGULACE 8 : DX=L.K1.DL /DT.K2
 VCH

START 1

5) JELI R:R4 SKOK NA 29:29:0 ::POD 50-VYPOCET DX1,DX2
 CYKL 1=0:1:2
 J4.1
 X=B111/Q51 X=K1J.X
 X1=B51/Q4
 X=X1-X
 D41=X-K2J ::DX
 CPA 1
 VCH

2) D4=0 ::POD 29-ODSTAVENI REGULATORU
 D5=0
 VCH

85) TEXT SOUSTAVA S AKCNIM CLENEM-REGULACE 9 : DX=EPS-K1.OMEGA-K2
 VCH

START 1

30) JELI R:R4 SKOK NA 29:29:0
K4=A6.C3 K6=A8.C3

::POD 50-VYPOCET DX1,DX2=26.3,75.

CYKL 1=0:1:2

J4.1

K1 K2 (K4)

X.B51-P51 X=X/K4J X=X.K1J

K5 K6 (K8)

D41-Z31-K2J D41-D41.X

::DX

CPA 1

WCH

29) D4=0 ::POD 29-ODSTAVENI REGULATORU

D5=0

WCH

85) TEXT SOUSTAVA S AKCNIM CLENEM-REGULACE 10 : DX=L.K1.(EPS)'-K2@
WCH

START 1

30) JELI R:R4 SKOK NA 29:29:0

::POD 50-VYPOCET DX1,DX2=26.3,75.

K4=A6.C3 K6=A8.C3

CYKL 1=0:1:2

K1 K2 (K4)

J4.1

X.B51-P51

K5 K6 (K8)

JELI X SKOK NA 0:0:13

X=0

SKOK NA 14

13) X=X/K4J X=X.K1J

14) D41-Z31-K2J D41-D41.X

::DX

CPA 1

WCH

29) D4=0 ::POD 29-ODSTAVENI REGULATORU

D5=0

WCH

85) TEXT SOUSTAVA S AKCNIM CLENEM-REGUL. 10A : DX=L.K1.(+EPS)'-K2@
WCH

START 1

50) JELI R:R4 SKOK NA 29:29:0

::POD 50-VYPOCET DX1,DX2-26.3,75.

K4-A6,C3 K8-A8,C3

CYKL 1=0:1:..2

K1 K2 K3 (K4)

J4,1

X-K1J,R X1-K2J,B111 X-X-X1

K5 K6 K7 (K8)

JELI X SKOK NA 0:13:13

X-B51-P51 X-X/K4J X-X-K3J

JELI X SKOK NA 0:13:13

D41-C

SKOK NA 14

13)D41=1000

*)OPA !

WCH

B)D4=0

::POD 29-ODSTAVENI REGULATORU

D5=0

WCH

65)TEXT SOUSTAVA S AKCNIM CLENEM-REGULACE 11 : DX-DL V D(EPS)*

WCH

START 1

50) JELI R:R4 SKOK NA 29:29:0

::POD 50-VYPOCET DX1,DX2-25.3.75.

CYKL I=0:1:2

J4.1 J1=2.1

JELI D4I SKOK NA 0:0:13

K1 K2 K3 (K4)

X=B5I/A6J1

K5 K6 K7 (K8)

X1=K1J.B11I

X=X-X1 X=X-K2J

JELI X SKOK NA 16:0:0

D4I=1000 K4J=B11I

SKOK NA 16

13) X=K3J.K4J X=B11I-X

JELI X SKOK NA 16:0:0

D4I=0

16) OPA I

WCH

2) D4=0

::POD 29-ODSTAVENI REGULATORU

D5=0

WCH

15) TEXT SOUSTAVA S AKCNIM CLENEM-REGULACE 12 : KUBRICHT 10

WCH

START 1

50) JELI R:R4 SKOK NA 29:29:0

::POD 50-VYPOCET DX1,DX2-25.3.75.

CYKL I=0:1:2

J4.1

JELI D4I SKOK NA 0:0:13

K1 K2 K3 K4

X=K1J.R X1=K2J.B11I

K5 K6 K7 K8

X=X-X1

JELI X SKOK NA 16:0:0

D4I=1000

SKOK NA 16

13) X=K3J.R X1=K4J.B11I

X=X-X1

JELI X SKOK NA 16:0:0

D4I=0

16) OPA I

WCH

2) D4=0

::POD 29-ODSTAVENI REGULATORU

D5=0

WCH

15) TEXT SOUSTAVA S AKCNIM CLENEM-REGULACE 13 : KUBRICHT 20

WCH

START 1

50) JELI R:R4 SKOK NA 29:29:0

::POD 50-VYPOCET DX1,DX2-27.6.1975.

JELI I1 SKOK NA 0:0:13

K3-K2/C3 K7-K6/C3

X-K1.R X1-A5.B11 D4-X-X1 K4-D4

K1 K2 (K3) (K4)

X-K5.R X1-A7.B12 D5-X-X1 K8-D5

K5 K6 (K7) (K8)

SKOK NA 14

13) CYKL I=0:1:2

J=2.I J1=4.I

X-K1J1.R X1-A5J.B11I

X-X-X1

X1-X-K4J1 X1-X1.K3J1

D4I-X-X1 :DX

K4J1=X

CPA I

14) VYCH

20) D4=0

::POD 29-ODSTAVENI REGULATORU

D5=0

VYCH

65) TEXT SOUSTAVA S AKCNIM CLENEM-REG. 14 : DX=(K1.VV-VK).K2.(.)'0

VYCH

START 1

50) JELI I1 SKOK NA 0:0:13

::POD 50-VYPOCET DX1,DX2-27.6.1975.

K-A7.B12

K7-K3.C3

X-K1.K X1-A5.B11 D4-X-X1 K4-D4

(K)

X-K5.K X1-A7.B12 D5-X-X1 K8-D5

K1 K2 K3 (K4)

SKOK NA 16

K5 K6 (K7) (K8)

13) K-K-K7

X1-A5.B11 X2-A7.B12

JELI K:X1 SKOK NA 0:0:14

K-X1

14) JELI K:X2 SKOK NA 0:0:15

K-X2

15) JELI R:R4 SKOK NA 29:29:0

CYKL I=0:1:2

J=2.I J1=4.I

X-K1J1.K X1-A5J.B11I

X-X-X1

X1-X-K4J1 X1-X1.K2J1 X1-X1/C3

D4I-X-X1 :DX

K4J1=X

CPA I

16) VYCH

20) D4=0

::POD 29-ODSTAVENI REGULATORU

D5=0

VYCH

65) TEXT SOUSTAVA S AKCNIM CLENEM-REGULACE 15 : VIZ REG.14-'VV'0

VYCH

START 1

5) JELI R:R4 SKOK NA 29:29:0

K4=K2/A6 K8=K6/A8

CYKL I=0:1:2

J2=1 J1=4,1

X=K1J1.R X1=A5J.B111

X=X1

X1=K4J1.B51

D41=X+X1 ::DX

CPA I

WCH

::POD 50-VYPOCET DX1,DX2-4.7.1975.

K1 K2 (K4)

K5 K6 (K8)

2) D4=0 ::POD 29-ODSTAVENI REGULATORU

D5=0

WCH

85) TEXT SOUSTAVA S AKCNIM CLENEM-REG. 14E : DX=(K1.VV-VK)+K2.EPS

START 1

5) JELI I1 SKOK NA 0:0:13

K=0 K7=K3.C3

K4=K2/A6 K8=K6/A8

SKOK NA 16

3) K=K-K7

6) X1=A5.B11 X2=A7.B12

JELI K:X1 SKOK NA 0:0:14

K=X1

7) JELI K:X2 SKOK NA 0:0:15

K=X2

6) JELI R:R4 SKOK NA 29:29:0

CYKL I=0:1:2

J1=4,1

X=K1J1.K X=X1

X1=K4J1.B51

D41=X+X1 ::DX

CPA I

WCH

::POD 50-VYPOCET DX1,DX2-4.7.1975.

(K)

K1 K2 K3 (K4)

K5 K6 (K7) (K8)

2) D4=0 ::POD 29-ODSTAVENI REGULATORU

D5=0

WCH

85) TEXT SOUST. S AKCNIM CLENEM-REG. 15E : DX=(K1.'VV'-VK)+K2.EPS

START 1

Příloha L

Výpis programu pro tisk tabulek vybraných
veličin simulace

::1.10.1973.

::P-0160T-TISK VYBRANYCH FUNKCI Z MGP@UKOL K3-62042 @AUTOBRZDY@

CELA I(7):J(1):L(1):A(1):K(1):N(3):B(16):P(1)

RAC S(4095):C(6)

RUN RTISK:ALFA:MGP

REF 22

1)SNI 4 DER 4 RAD

TEXT SOUBOR JE ULOZEN NA MGP : @ CTI L MEZ 5

TEXT OD ADRESY : @ CTI A A1=A.300

RAD

2)MGP L HLEDEJ ADR A

MGP L CTI DO S:300

12-S290 13-4095/12

N-S291 N1=12.N

C3-S292

15-S293

17-S294

C5-S296

C6-S297

I-S299

JELI 1:A SKOK NA 0:5:0

DER 4 RAD

TEXT CHYBNA ADRESA SOUBORU-ZADEJ JINOU ADRESU@

RAD

SKOK NA 1

5)SNI 4 DER 4 RAD

TEXT POCET FUNKCI VE VYBERU (MAX 12) : @ CTI 11 RAD

TEXT ZVOL FUNKCE (1-12) : @

CYKL 1=0:1:1

CTI BI

OPA 1

RAD

6)SNI 4 DER 4 RAD

TEXT KROK VYBERU (VZHLED K ULOZENYM VETAM) : @ CTI K

K1=12.K

I=15.K

C1-NORM 1

C1-C1.C3 ::CASOVY KROK VYBERU

7)SNI 4 DER 4 RAD

TEXT POCATEK VYBERU : @ CTI P P1=P.12

RAD

I=P.15 I=1.17

C-NORM 1

C=C.C3 ::CAS POCATKU VYBERU

10) SNI 2
 VSTUP S300
 11) L1=2
 KLIC 2:12) :: DER 3 NEBO 2
 L1=3
 12) DER L1
 VSTUP S
 TEXT CAS MB
 VSTUP S300
 RAD
 CYKL 1=0:0:126
 ZNT 15
 CPA 1
 ZNT 22
 RAD

16) I=A1:P1
 S.C
 J.D 16=0
 MGP L HLEDEJ ADR 1
 N3=0
 N2=N1
 JELI N:13 SKOK NA 17:17:0
 N2=13,12
 17) MGP L CTI DO S1:N2
 18) JELI J:N2 SKOK NA 0:19:19
 TISK S,2:3
 CYKL 1=0:1:11
 J1=J.B1
 TISK SJ1,5
 CPA 1
 RAD
 S.S.C1
 J.J.K1
 16=16+1
 SKOK NA 18
 19) J=J.N2
 N3=N3.N2
 I=N1-N3
 JELI I SKOK NA 20:20:0
 JELI I:N2 SKOK NA 0:17:17
 N2=1
 SKOK NA 17
 20) DER L1 RAD 2
 TEXT OKAMZIK ZASTAVENI : TISK C5,2:3 TEXT SEC
 MEZ 10
 TEXT BRZONA DRAHA : TISK C6,3:2 TEXT M
 RAD 2
 TEXT POCET VYBRANYCH HODNOT : TISK 16,4
 RAD 5
 21) DER 4 RAD
 TEXT POCET VYBRANYCH HODNOT : TISK 16,4
 RAD 2
 22) STOP 777733331111
 SKOK NA 1
 START 1

Příloha M

Výpis programu pro tisk grafických průběhů vybraných
veličin simulace

::2.10.1973.

::P-0160GR-MGP GRAF FUNKCI S VYBEREM PRI CTENI Z MGP

::MAX 16 FUNKCI-BRZDENI @UKOL K3-62042 @AUTOBRZDY

::KLIC 2 - DER 3 NEBO 2 (STEJNY ROZMER)

::KLIC 10 - PRO VOLBU MERITKA NEZADANO ZJISTENI MIN A MAX HODNOTY

CELA 1(8):J(1):L(1):R(1):A(16):S(16):M(17):N(4):D(320):U(1):K(1)

RAC B(3):T(340):F(4095):X(16):Y(2):C(5):P

RUN RTISK:ALFA:MGP

REF 38

1)SNI 4 DER 4 RAD

TEXT SOUBOR JE ULOZEN NA MGP : @ CTI L MEZ 5

TEXT OD ADRESY : @ CTI A

RAD

2)MGP L HLEDEJ ADR A

MGP L CTI DO D:300

I2=0290 I3=4096/I2

N=0291 N1=I2.N

C3=0292

I8=0293

I7=0294

C5=0296

B3=0297

I=0299

JELI I:A SKOK NA 0:11:0

DER 4 RAD

TEXT CHYBNA ADRESA SOUBORU-ZADEJ JINOU ADRESU@

RAD

SKOK NA 1

11)SNI 4 DER 4 RAD

TEXT POCET FUNKCI VE VYBERU (MAX I2) : @ CTI I1 RAD

TEXT ZVOL FUNKCE (1-I2) : @

CYKL I=1:1:=I1

CTI AI

JELI AI:I2 SKOK NA 12:12:0

DER 4 RAD

TEXT INDEX ZVOLENE FCE JE VETSI NEZ CELKOVY POCET FCI V TABULCE-ZADEJ NOVE FCE@

RAD

SKOK NA 11

12)AI=AI-1

JELI I:1 SKOK NA 29:29:0

CYKL J=2:1:=I

JELI A(J-1):AI SKOK NA 13:0:13

DER 4 RAD

TEXT INDEX SE OPAKUJE-ZADEJ NOVA DATA@

RAD

SKOK NA 11

13)OPA J

29)OPA I

RAD

4) SNI 4 DER 4 RAD

TEXT KROK VYBERU (VZHLED K ULOZENYM VETAM) : ⊕ CTI K

K1=12.K

I=18.K

C1=NORM 1

C1=C1.C3

::CAS. KROK VYBERU

C=NORM 17

C=C.C3

::CAS POCATKU VYBERU

6) SNI 2

VSTUP 0300

6) KLIC 10:23)

::ZJISTENI MIN A MAX HODNOTY

B=0777777777777777

B1=0777777777777777

J=0

I=A+300

MGP L HLEDEJ ADR 1

N3=0

N2=N1

JELI N:13 SKOK NA 17:17:0

N2=13.12

17) MGP L CTI DO F:N2

8) JELI J:N2 SKOK NA 0:21:21

OKL I=1:1:11

P=F(J+AI)

JELI B:P SKOK NA 0:19:19

B=P

8) JELI B1:P SKOK NA 20:20:0

B1=P

21) OPA 1

J=J+K1

SKOK NA 18

21) J=J+N2

N3=N3+N2

I=N1+N3

JELI I SKOK NA 22:22:0

JELI I:N2 SKOK NA 0:17:17

N2=1

SKOK NA 17

22) DER 4 RAD

MEZ 8

TEXT Y MIN= ⊕ TISK B1,4 MEZ 4

TEXT Y MAX= ⊕ TISK 8

23) SNI 4 DER 4 RAD

TEXT MERITKO Y MIN= ⊕ CTI Y MEZ 4

TEXT Y MAX= ⊕ CTI Y1 MEZ 4

TEXT RAD= ⊕ CTI R

RAD

I=A+300

MGP L HLEDEJ ADR 1

25) L1=2

K1C 2:26)

::DER 3 NEBO 2

L1=3

25) DER L1 RAD

J-126

VYSTUP D

RAD

TEXT GRAF FUNKCI : Φ

VYSTUP D300

RAD 2

TEXT PRUBEHY Y TISTENY ZNAKY: Φ

MEZ

TEXT Y1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 Φ

RAD

MEZ 26 ZNT 15

MEZ 2 ZNT 17

MEZ 2 ZNT 24

MEZ 2 ZNT 18

MEZ 2 ZNT 5

MEZ 2 ZNT 26

MEZ 2 ZNT 14

MEZ 2 ZNT 44

MEZ 2 ZNT 55

MEZ 3 ZNT 13

MEZ 3 ZNT 19

MEZ 3 ZNT 22

MEZ 3 ZNT 11

MEZ 3 ZNT 37

MEZ 3 ZNT 52

MEZ 3 ZNT 49

RAD 2

TEXT Y MIN= Φ

TASK Y, 4

MEZ 70

TEXT Y MAX= Φ

TASK Y1

RAD 3

CYKL I=0:0:J

TEXT Φ

CPA I

RAD

27) R1=125

X=NORM R1

Y2=Y1-Y

Y2=X/Y2

32) DER L1

I-A-300

MGP L HLEDEJ ADR I

J=0 16=0

N3=0

N2=N1

JELI N:13 SKOK NA 33:33:0

N2=13,12

33) MGP L CTI DO F:N2

34) JELI J:N2 SKOK NA 0:35:35

CYKL I=0:1:..11

X=F(J+A11)

CPA I

PCD 3

I6=15+1

J=J+K1

SKOK NA 34

35) J=J-N2

N3=N3+N2

I=N1+N3

JELI I SKOK NA 36:36:0

JELI I:N2 SKOK NA 0:33:33

N2=I

SKOK NA 33

36) DER L1 RAD 2

TEXT POCATEK TISKU GRAFU :⊕ TISK C,2:3 TEXT SEC⊕ MEZ 10

TEXT OKAMZIK ZASTAVENI :⊕ TISK C5 TEXT SEC⊕ MEZ 10

TEXT BRZDNA DRAHA:⊕ TISK B3,3:2 TEXT M⊕

RAD 2

TEXT POCET VYTISTENYCH RADKU GRAFU :⊕ TISK I6,4

RAD 5

37) DER 4 RAD

TEXT POCET VYTISTENYCH RADKU GRAFU :⊕ TISK I5,4

RAD 2

38) STOP ⊕777733331111

SKOK NA 1

3) X11=0 ::POD 3-GRAF
 S=15
 S1=17
 S2=24
 S3=18
 S4=5
 S5=26
 S6=14
 S7=44
 S8=55
 S9=13
 S10=13
 S11=22
 S12=11
 S13=37
 S14=52
 S15=49
 S1=7
 CYKL J1=0:1:=11
 P=XJ1-Y
 P=P.Y2
 P=P.O.5
 M1J1=ENT P
 OPA J1
 4) I4=0
 CYKL J1=0:1:=11
 JELI M2J1:M1J1 SKOK NA 0:5:5
 VYM M2J1:M1J1
 VYM S1J1:SJ1
 I4=1
 5) OPA J1
 JELI I4 SKOK NA 0:0:4
 I4=0
 I5=0
 CYKL J1=0:1:=11
 JELI M1J1 SKOK NA 7:0:6
 JELI I4 SKOK NA 0:0:7
 I4=1
 ZNT SJ1
 SKOK NA 7
 6) JELI M1J1:R1 SKOK NA 0:0:7
 JELI I5 SKOK NA 0:0:9
 I5=1
 M=M1J1
 JELI I4 SKOK NA 8:8:0
 M=M-1
 SKOK NA 8
 9) M=M1J1:MJ1
 M=M-1
 8) JELI M SKOK NA 7:10:0
 MEZ M
 10) ZNT SJ1
 7) OPA J1
 RAD R
 WCH
 START 1

Příloha P

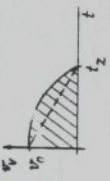
Přehled řešených rovnic a jejich realizace
v programu simulace

Název veličiny	Definice	Pro úpravu nebo zjednodušení	Interní realizace v programu	Průběžná
1 Rovnovážná momenta na kolech	$M_{T_1} + M_{S_1} - M_{V_1} - M_{B_1} = 0$ $M_{T_2} + M_{S_2} - M_{V_2} - M_{B_2} = 0$		$B1 + B5 - B7 - B13 = 0$ $B2 + B6 - B8 - B14 = 0$	
2 Součinitel přilnavosti	$\mu = F(\lambda, v_v) \dots \dots \text{tabulka}$	$F_1 = F(\lambda_1, v_v)$ $F_2 = F(\lambda_2, v_v)$	Lineární interpolace funkce 2 proměnných: v ... rychlostní řezu v_v (m řezů) L... body zřemou λ , středně počítat a k tomu (m bodů) F... matice funkčních hodnot $F(\lambda_1, v_v)$ (rozměr m, n)	
3 Náslavný vzrůstový moment	$M_{N_1}(t < t_B) = M_{N_1, \max} \cdot \frac{t}{t_B}$ $M_{N_1}(t \geq t_B) = M_{N_1, \max}$ $M_{N_2} = M_{N_1} \cdot \frac{1}{K_B}$	$M_{N_1}(j < \frac{t_B}{\Delta t}) = M_{N_1}(j) + M_{N_1, \max} \cdot \frac{\Delta t}{t_B}$ $M_{N_1}(j \geq \frac{t_B}{\Delta t}) = M_{N_1, \max}$ $M_{N_2} = M_{N_1} \cdot \frac{1}{K_B}$	$B9 = B9 + D2$ $B10 = \frac{B9}{A16}$	
4 Moment odhrazovací akcím členem	$M_{AC_1} = R_{AC_1} \cdot N_H \cdot V_1$ $M_{AC_2} = R_{AC_2} \cdot N_H \cdot V_2$		$B13 = A17 \cdot H1$ $B14 = A18 \cdot H101$	
5 Skutečný vzrůstový moment na kole	$M_{B_1} = M_{N_1} - M_{AC_1}$ $M_{B_2} = M_{N_2} - M_{AC_2}$		$B13 = B9 - B13$ $B14 = B10 - B14$	
6 Rovnice PID regulátoru	$e_1 = k_1 \left[\Delta x_1 + k_2 \cdot \frac{d(\Delta x_1)}{dt} + k_3 \cdot \int_0^{t_j} (\Delta x_1) dt \right]$ $e_2 = k_2 \left[\Delta x_2 + k_5 \cdot \frac{d(\Delta x_2)}{dt} + k_6 \cdot \int_0^{t_j} (\Delta x_2) dt \right]$	$e_1 = k_1 \left[\frac{\Delta x_1(j) - \Delta x_1(j-1)}{\Delta t} + k_3 \sum_{j=1}^n \frac{\Delta x_1(j) + \Delta x_1(j-1)}{2} \right]$ $e_2 = k_2 \left[\frac{\Delta x_2(j) - \Delta x_2(j-1)}{\Delta t} + k_5 \sum_{j=1}^n \frac{\Delta x_2(j) + \Delta x_2(j-1)}{2} \right]$	$D8 = D8 + (D4 + D6) \cdot C4$ $P1 = K11 [D4 + K12 \cdot \frac{D4 - D6}{C3} + K13 \cdot D8]$ $D9 = D9 + (D5 + D7) \cdot C4$ $P2 = K14 [D5 + K15 \cdot \frac{D5 - D7}{C3} + K16 \cdot D9]$	

Název veličiny	Definice	Pro úpravu nebo zjednodušení	Interní realizace v programu	Pravidla
7 Translační zpřevodní vztahy	$\dot{b}_v = \frac{\frac{g \cdot \ell_1}{2} \cdot F(\lambda_1, v_v) + \frac{g \cdot \ell_1}{2} \cdot F(\lambda_2, v_v)}{1 - \frac{h}{2} [F(\lambda_1, v_v) - F(\lambda_2, v_v)]}$	$\dot{b}_v = \frac{H1 \cdot F_1 + H2 \cdot F_2}{1 - H3 \cdot (F_1 - F_2)}$	$B = \frac{A9 \cdot W3 + A10 \cdot W4}{1 - A11 \cdot (W3 - W4)}$	
8 Translační rychlost vřídla	$v_v = v_0 - \int_0^{t_j} \dot{b}_v \cdot dt$	$v_v(j) = v_v(j-1) - \dot{b}_v(j-1) \cdot \Delta t$ $v_v(j) = v_v(j-1) - [\dot{b}_v(j) + \dot{b}_v(j-1)] \cdot \frac{\Delta t}{2}$	$R = R1 - B \cdot C3$ $R = R1 - (B + P3) \cdot C4$	- předvídání odhad - přesně
9 Úhlová rychlost kola	$\omega_1 = \omega_{01} - \int_0^{t_j} \epsilon_1 \cdot dt = \frac{v_v(1-\lambda_1)}{r_{d1}}$ $\omega_2 = \omega_{02} - \int_0^{t_j} \epsilon_2 \cdot dt = \frac{v_v(1-\lambda_2)}{r_{d2}}$		$B11 = \frac{R \cdot (1 - Z3)}{A5}$ $B12 = \frac{R \cdot (1 - Z4)}{A7}$	
10 Skluz kola	$\lambda = \frac{v_v - r_{d1} \cdot \omega}{v_v}$		iterace Z3 iterace Z4	
11 Třetí moment obvodu pneumatiky	$M_{T1} = \frac{G \cdot r_{d1}}{2\ell} (\ell_2 + \frac{\ell_v \cdot h}{g}) \cdot F_1(\lambda_1, v_v)$ $M_{T2} = \frac{G \cdot r_{d2}}{2\ell} (\ell_1 - \frac{\ell_v \cdot h}{g}) \cdot F_2(\lambda_2, v_v)$	$M_{T1} = (A1 + B1 \cdot \dot{b}_v) \cdot F_1(\lambda_1, v_v)$ $M_{T2} = (A2 - B2 \cdot \dot{b}_v) \cdot F_2(\lambda_2, v_v)$	$B1 = (A1 + A3 \cdot B) \cdot W3$ $B2 = (A2 - A4 \cdot B) \cdot W4$	
12 Setrvačnický moment kola (úhlové zpřevodění kola)	$M_{S1} = \frac{I_1}{r_{d1}} \left[(1-\lambda_1) \cdot \dot{b}_v + \frac{d\lambda_1}{dt} \cdot v_v \right] - I_1 \cdot \epsilon_1$ $M_{S2} = \frac{I_2}{r_{d2}} \left[(1-\lambda_2) \cdot \dot{b}_v + \frac{d\lambda_2}{dt} \cdot v_v \right] - I_2 \cdot \epsilon_2$	$M_{S1} = C5 \left[(1-\lambda_1) \cdot \dot{b}_v + \frac{\lambda_1(j) - \lambda_1(j-1)}{\Delta t} \cdot v_v \right]$ $M_{S2} = C6 \left[(1-\lambda_2) \cdot \dot{b}_v + \frac{\lambda_2(j) - \lambda_2(j-1)}{\Delta t} \cdot v_v \right]$	$B5 = C5 \cdot [(1-Z3) \cdot B + (Z3-Z1) \frac{R}{C3}]$ $B6 = C6 \cdot [(1-Z4) \cdot B + (Z4-Z2) \frac{R}{C3}]$	
13 Moment odporu valení	$M_v = \frac{G}{2\ell} (\ell_2 + \frac{h \cdot \ell_v}{g}) \cdot r_{c1}$ $M_{v2} = \frac{G}{2\ell} (\ell_1 - \frac{h \cdot \ell_v}{g}) \cdot r_{c2}$	$M_{v1} = C1 + D1 \cdot \dot{b}_v$ $M_{v2} = C2 - D2 \cdot \dot{b}_v$	$B7 = A12 + A13 \cdot B$ $B8 = A14 - A15 \cdot B$	

Název voličiny	Definice	Pr. úlohy nebo zjednodušení	Interní realizace v programu	Pravidla
16 Definice regulační okružky: Wfemová regulace	$\Delta X = W - \frac{dF(\lambda, v_v)}{dt} \cdot \frac{v_v}{(\varepsilon \cdot v_v - \omega \cdot b_v) \cdot \eta_d}$ $W = k_1 \cdot F(\lambda, v_v) \cdot \lambda$	$\Delta x_1 = k_{21} \cdot F_1(j) \cdot \lambda_1 - \frac{F_1(j) - F_1(j-1)}{\Delta t} \cdot \frac{v_v}{(\varepsilon_1 \cdot v_v - \omega_1 \cdot b_v) \cdot \eta_{d1}}$ $\Delta x_2 = k_{22} \cdot F_2(j) \cdot \lambda_2 - \frac{F_2(j) - F_2(j-1)}{\Delta t} \cdot \frac{v_v}{(\varepsilon_2 \cdot v_v - \omega_2 \cdot b_v) \cdot \eta_{d2}}$	$D4 = K1 \cdot W3 \cdot Z3 - \frac{(W3 - W1) \cdot P2}{(A6 \cdot P - B11 \cdot B) \cdot C9}$ $D5 = K5 \cdot W4 \cdot Z4 - \frac{(W4 - W2) \cdot P2}{(A8 \cdot P - B12 \cdot B) \cdot C10}$	
Regulace 1	$\Delta X = \varepsilon - k_1$	$\Delta x_1 = \frac{M_{S1}}{N_H} - k_1$ $\Delta x_2 = \frac{M_{S2}}{N_H} - k_5$	$D4 = \frac{B5}{Q4} - K1$ $D5 = \frac{B6}{Q4} - K5$	
Regulace 2	$\Delta X = \varepsilon - k_1 \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} - k_2$	$\Delta x_1 = \frac{M_{S1}(j)}{N_H} - k_1 \cdot \frac{M_{S1}(j) - M_{S1}(j-1)}{\Delta t} - k_2$ $\Delta x_2 = \frac{M_{S2}(j)}{N_H} - k_5 \cdot \frac{M_{S2}(j) - M_{S2}(j-1)}{\Delta t} - k_6$	$D4 = \frac{B5}{Q4} - K1 \cdot \frac{B5 - P5}{Q4 \cdot C3} - K2$ $D5 = \frac{B6}{Q4} - K5 \cdot \frac{B6 - P6}{Q4 \cdot C3} - K6$	
Regulace 3	$\Delta X = k_1 \cdot F(\lambda, v_v) - \left \frac{dF(\lambda, v_v)}{dt} \right $	$\Delta x_1 = k_1 \cdot F_1(j) - \left \frac{F_1(j) - F_1(j-1)}{\Delta t} \right $ $\Delta x_2 = k_5 \cdot F_2(j) - \left \frac{F_2(j) - F_2(j-1)}{\Delta t} \right $	$D4 = K1 \cdot W3 - ABS \cdot \frac{W3 - W1}{C3}$ $D5 = K5 \cdot W4 - ABS \cdot \frac{W4 - W2}{C3}$	
Regulace 4	$\Delta X = \varepsilon - k_1 \cdot b_v - k_2$	$\Delta x_1 = \frac{M_{S1}}{N_H} - k_1 \cdot b_v - k_2$ $\Delta x_2 = \frac{M_{S2}}{N_H} - k_5 \cdot b_v - k_6$	$D4 = \frac{B5}{Q4} - K1 \cdot B - K2$ $D5 = \frac{B6}{Q4} - K5 \cdot B - K6$	
Regulace 5	$\Delta X = \lambda - k_1$	$\Delta x_1 = \lambda_1 - k_1$ $\Delta x_2 = \lambda_2 - k_5$	$D4 = Z3 - K1$ $D5 = Z4 - K5$	
Regulace 6	$\Delta X = \varepsilon + k_1 \cdot \lambda - k_2$	$\Delta x_1 = \frac{M_{S1}}{N_H} + k_1 \cdot \lambda - k_2$ $\Delta x_2 = \frac{M_{S2}}{N_H} + k_5 \cdot \lambda - k_6$	$D4 = \frac{B5}{Q4} - K1 \cdot Z3 - K2$ $D5 = \frac{B6}{Q4} - K5 \cdot Z4 - K6$	
Regulace 7 TELOIX	$\Delta X = A \vee B$ $A = 1 \quad \text{pod } \varepsilon - k_1 \geq 0$ $B = 1 \quad \text{pod } \lambda - k_2 \geq 0$	$A_1 = \frac{M_{S1}}{I_1} - k_1 \quad B_1 = \lambda_1 - k_2$ $A_2 = \frac{M_{S2}}{I_2} - k_5 \quad B_2 = \lambda_2 - k_6$	$A_1 = \frac{B5}{A6} - K1 \quad B_2 = Z3 - K2$ $A_2 = \frac{B6}{A8} - K5 \quad B_2 = Z4 - K6$	$D4 = 0 \text{ nebo } D4 = 1000$ $D5 = 0 \text{ nebo } D5 = 1000$

Regulace 8	$\Delta x = \lambda + k_1 \cdot \frac{d\lambda}{dt} - k_2$	$\Delta x_1 = \lambda_1(j) + k_1 \cdot \frac{\lambda_1(j) - \lambda_1(j-1)}{\Delta t} - k_2$ $\Delta x_2 = \lambda_2(j) + k_5 \cdot \frac{\lambda_2(j) - \lambda_2(j-1)}{\Delta t} - k_6$	$D4 = Z3 + K1 \cdot \frac{Z3 - Z1}{C3} - K2$ $D5 = Z4 + K5 \cdot \frac{Z4 - Z2}{C3} - K6$	
Regulace 9	$\Delta x = \varepsilon - k_1 \cdot \omega - k_2$	$\Delta x_1 = \frac{M_{S1}}{N_H} - k_1 \cdot \frac{\omega_1}{N_{\omega_1}} - k_2$ $\Delta x_2 = \frac{M_{S2}}{N_H} - k_5 \cdot \frac{\omega_2}{N_{\omega_2}} - k_6$	$D4 = \frac{B5}{Q4} - K1 \cdot \frac{B11}{Q5} - K2$ $D4 = \frac{B6}{Q4} - K5 \cdot \frac{B12}{Q6} - K6$	

Název veličiny	Definice	Průběh nebo zjednodušení	Interní realizace v programu	Průběh
15 kritériální veličiny b) brzdná dráha	$s = \int_0^{t_z} v_r \cdot dt$ 	$\Delta(j) = \Delta(j-1) + [v_r(j) + v_r(j-1)] \cdot \frac{\Delta t}{2}$	$R3 = R3 + (R + R1) \cdot C4$	
c) střední zpomalení	$\bar{v}_v = \frac{v_0}{t_z}$		$R1 = \frac{R2}{3,6 \cdot T}$	
d) střední hodnota skluzu kola	$\bar{\lambda} = \frac{\int_0^{t_R} \lambda \cdot dt}{t_R}$	$\bar{\lambda}_1 = \frac{\sum_{j=1}^{n_R} \lambda_1(j)}{n_R}$ $\bar{\lambda}_2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_R} \lambda_2(j)}{n_R}$	$X1 = \frac{Z5}{I14}$ $X3 = \frac{Z6}{I14}$	
e) rozptyl skluzu kola	$S_{\lambda}^2 = \frac{\int_0^{t_R} (\lambda - \bar{\lambda})^2 \cdot dt}{t_R} = \frac{\int_0^{t_R} \lambda^2 \cdot dt}{t_R} - \bar{\lambda}^2$	$S_{\lambda_1}^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_R} \lambda_1^2(j)}{n_R} - \bar{\lambda}_1^2$ $S_{\lambda_2}^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_R} \lambda_2^2(j)}{n_R} - \bar{\lambda}_2^2$	$X2 = \frac{Z7}{I14} - (X1)^2$ $X4 = \frac{Z8}{I14} - (X3)^2$	
f) střední kvadratická změna skluzu kola	$\left(\frac{d\lambda}{dt} \right)^2 = \frac{\int_0^{t_R} \left(\frac{d\lambda}{dt} \right)^2 \cdot dt}{t_R}$	$\left(\frac{d\lambda_1}{dt} \right)^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_R} [\lambda_1(j) - \lambda_1(j-1)]^2}{n_R \cdot \Delta t^2}$ $\left(\frac{d\lambda_2}{dt} \right)^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_R} [\lambda_2(j) - \lambda_2(j-1)]^2}{n_R \cdot \Delta t^2}$	$X7 = \frac{Z9}{I14 \cdot (C3)^2}$ $X8 = \frac{Z10}{I14 \cdot (C3)^2}$	
g) střední hodnota součinitele příslanosti	$\frac{F(\lambda, v_r)}{F(\lambda, v_0)} = \frac{\int_0^{t_R} F(\lambda, v_r) \cdot dt}{t_R}$	$\bar{F}_1 = \frac{\sum_{j=1}^{n_R} F_1(j)}{n_R}$ $\bar{F}_2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_R} F_2(j)}{n_R}$	$X5 = \frac{W5}{I14}$ $X6 = \frac{W6}{I14}$	

h) střední normální brzdový moment	$\overline{M_B} = \frac{\int_0^{t_R} \frac{M_B}{N_H} \cdot dt}{t_R}$	$\overline{M_{B_1}} = \frac{\sum_{j=1}^{n_R} M_{B_1}(j)}{n_R \cdot N_H}$ $\overline{M_{B_2}} = \frac{\sum_{j=1}^{n_R} M_{B_2}(j)}{n_R \cdot N_H}$	$X9 = \frac{Z13}{I14 \cdot Q4}$ $X11 = \frac{Z14}{I14 \cdot Q4}$
i) rozptyl poměrného brzdového momentu	$S_{M_B}^2 = \frac{\int_0^{t_R} \frac{M_B}{N_H} \cdot dt}{t_R} - \overline{M_B}^2$ $S_{M_{B_1}}^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_R} M_{B_1}^2(j)}{n_R \cdot N_H} - \overline{M_{B_1}}^2$ $S_{M_{B_2}}^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_R} M_{B_2}^2(j)}{n_R \cdot N_H} - \overline{M_{B_2}}^2$	$X10 = \frac{Z11}{I14 \cdot (Q4)^2} - (X9)^2$ $X12 = \frac{Z12}{I14 \cdot (Q4)^2} - (X11)^2$	$Y1\ominus = C11 \cdot P + C12 \cdot Y3 + C13 \cdot Y7$ $Y1\oplus = C14 \cdot P + C15 \cdot Y3 + C16 \cdot Y7$ $Y1\ominus = C17 \cdot P + C18 \cdot Y3 + C19 \cdot Y7$ $Y1\oplus = C20 \cdot P + C21 \cdot Y3 + C22 \cdot Y7$ $Y2\ominus = C31 \cdot P + C32 \cdot Y4 + C33 \cdot Y8$ $Y2\oplus = C34 \cdot P + C35 \cdot Y4 + C36 \cdot Y8$ $Y2\ominus = C37 \cdot P + C38 \cdot Y4 + C39 \cdot Y8$ $Y2\oplus = C40 \cdot P + C41 \cdot Y4 + C42 \cdot Y8$
16 Pořadí abecedního členu (normální posuv)	$S = [P(j-1) - P_0 - \text{sign } \dot{Y}_{A\bar{C}}(j-1) \cdot P_r]$ $Y_{A\bar{C}}(j) = C_1 \cdot S + C_2 \cdot Y_{A\bar{C}}(j-1) + C_3 \cdot \dot{Y}_{A\bar{C}}(j-1)$ $\dot{Y}_{A\bar{C}}(j) = C_4 \cdot S + C_5 \cdot Y_{A\bar{C}}(j-1) + C_6 \cdot \dot{Y}_{A\bar{C}}(j-1)$		

Příloha R

Interní význam a použití proměnných v programech
simulace (verze 7)

Interní význam a použití proměnných v programech simulace (verze 7)

A ... pracovní proměnná v iteračním cyklu

$$A1 \quad \dots \quad A_1 = \frac{G \cdot r_{d1} \cdot l_2}{2 \cdot l_1}$$

$$A2 \quad \dots \quad A_2 = \frac{G \cdot r_{d2} \cdot l_1}{2 \cdot l_1}$$

$$A3 \quad \dots \quad B_1 = \frac{G \cdot r_{d1} \cdot h}{2 \cdot l_1 \cdot g}$$

$$A4 \quad \dots \quad B_2 = \frac{G \cdot r_{d2} \cdot h}{2 \cdot l_1 \cdot g}$$

viz výpočet M_{Ti}

$$A5 \quad \dots \quad r_{d1}$$

$$A6 \quad \dots \quad I_1$$

$$A7 \quad \dots \quad r_{d2}$$

$$A8 \quad \dots \quad I_2$$

$$A9 \quad \dots \quad H_1 = \frac{g \cdot l_2}{1}$$

$$A10 \quad \dots \quad H_2 = \frac{g \cdot l_1}{1}$$

$$A11 \quad \dots \quad H_3 = \frac{h}{1}$$

viz výpočet b_v

$$A12 \quad \dots \quad C_1 = \frac{G \cdot l_2 \cdot r_{c1}}{2 \cdot l_1}$$

$$A13 \quad \dots \quad D_1 = \frac{G}{g} \cdot \frac{h}{2 \cdot l_1} \cdot r_{c1}$$

$$A14 \quad \dots \quad C_2 = \frac{G \cdot l_1 \cdot r_{c2}}{2 \cdot l_1}$$

$$A15 \quad \dots \quad D_2 = \frac{G}{g} \cdot \frac{h}{2 \cdot l_1} \cdot r_{c2}$$

viz výpočet M_v

- A16 ... k_B - přebzdění přední nápravy vzhledem k zadní
- A17 ... R_{ac1} }
 A18 ... R_{ac2} } regulační rozsahy akčních členů
- A19 ... k_{p1} }
 A20 ... k_{p2} } koef. přebytku síly elektromagnetů akčních členů
- A21 ... P_{01} }
 A22 ... P_{02} } poměrné předpětí pružiny akčních členů
- A23 ... P_{T1} }
 A24 ... P_{T2} } poměrná třecí síla při pohybu akčních členů
-
- B ... b_v - translační zrychlení (zpoždění) vozidla (viz též P3)
- B1 ... M_{T1} }
 B2 ... M_{T2} } třecí momenty kola
- B3 ... M_{Nmax} - maximální hodnota nášlapového momentu
- B4 ... $\frac{M_{Nmax}}{N_H}$ - maximální poměrná hodnota nášlapového momentu [1]
- B5 ... $M_{S1} \sim \varepsilon_1$ (viz též P5) }
 B6 ... $M_{S2} \sim \varepsilon_2$ (viz též P6) } setrvačný moment kola
- B7 ... M_{v1} }
 B8 ... M_{v2} } valivý moment kola
- B9 ... M_{N1} }
 B10 ... M_{N2} } průběžná hodnota nášlapového momentu
- B11 ... ω_1 }
 B12 ... ω_2 } úhlová rychlost kola
- B13 ... M_{ac1}, M_{B1} }
 B14 ... M_{ac2}, M_{B2} } moment akčního členu, skutečný brzdny moment
-
- C ... počáteční krok pro výpočet λ v iteračním cyklu ($C = C3$)
- C1 ... t_B - doba náběhu brzdového momentu M_{N1} [sec]
- C2 ... volné
- C3 ... časový krok výpočtu [sec]

C4 ... $\frac{C3}{2}$ - konstanta pro numerickou integraci

C5 ... $\frac{I_1}{r_{d1}} = \frac{A6}{A5}$ }
 C6 ... $\frac{I_2}{r_{d2}} = \frac{A8}{A7}$ } konstanty pro výpočet M_{si}

C7 ... }
 C8 ... } volné

C9 ... C3 A5 }
 C10 ... C3 A1 } konstanty pro výpočet jmenovatele Δx_i
 u výkonové regulace

C11, C12, C13 ... výpočet $Y_{Ac1} +$ }
 C14, C15, C16 ... výpočet $Y_{Ac1} +$ } konstanty stavových vzorců,
 C17, C18, C19 ... výpočet $Y_{Ac1} -$ } viz rovnice /2.8/ až /2.16/
 C20, C21, C22 ... výpočet $Y_{Ac1} -$ }

C23, C24, C25 ... výpočet $Y_{Ac2} +$ }
 C26, C27, C28 ... výpočet $Y_{Ac2} +$ } konstanty stavových vzorců,
 C29, C30, C31 ... výpočet $Y_{Ac2} -$ } viz rovnice /2.8/ až /2.16/
 C32, C33, C34 ... výpočet $Y_{Ac2} -$ }

C35 až C42 ... rezerva (nevyužito)

D ... }
 D1 ... } pracovní při interpolaci a v iteračním cyklu

D2 ... časový přírůstek nášlapového momentu $D2 = B3 \frac{C3}{C1}$

D3 ... volné

D4 ... $x_1(j)$ }
 D5 ... $x_2(j)$ } regulační odchylka v j-tém výpočtovém kroku

D6 ... $x_1(j-1)$ }
 D7 ... $x_2(j-1)$ } regulační odchylka v předchozím výpočtovém kroku

D8 ... $\sum_0^j (D4 + D6) \cdot C4$ }
 D9 ... $\sum_0^j (D5 + D7) \cdot C4$ } výpočet integrační složky regulátoru PID

D10 až D14 ... datum výpočtu (ALFA - VSTUP)

D15 až D25 ... třetí dvojice, druh vozovky (ALFA - VSTUP)

F0 až F335 ... tabulka hodnot funkce přílnavosti $F(\lambda, v_v)$

H0 až H100 ... pracovní pro časový posuv (zpoždění) signálu z $\check{A}\check{C}_1$

H101 až H201 ... pracovní pro časový posuv (zpoždění) signálu z $\check{A}\check{C}_2$

I ... pracovní proměnná univerzální (nejčastěji proměnná v cyklu)

I1 ... počítadlo kroků výpočtu

I2 ... blokové počítadlo hodnot ukládaných na MGP

I3 ... počet vytištěných - uložených řádků tabulky $I3 = \frac{I6 - I7}{I5}$

I4 ... číslo použitého výstupního zařízení (2 = DER2, 3 = ACPU)

I5 ... krok tisku ke kroku výpočtu

I6 ... itadlo pro okamžiky tisku

I7 ... počátek tisku ke kroku výpočtu

I8 ... rozhodovací konstanta pro ukládání na MGP (0 = NE, 1 = ANO)

I9 ... počet průchodů iteračním cyklem (kontrolní pro MZV)

I10 ... počáteční adresa souboru na MGP

I11 ... první volná adresa na MGP

I12 ... číslo mechaniky MGP

I13 ... číslo kotouče MGP

I14 ... n_R - počet provedených výpočtových kroků do odstavení regulátoru (viz. kritéria kvality regulace)

I15 ... počet funkcí v tabulce na MGP (počet sloupců tabulky - 18)

I16 ... blokové počítadlo vět (řádků) tabulky v paměti

I17 ... $I17 = I15 \cdot I16$ - velikost bloku v operační paměti počítače pro ukládání tabulky na MGP

I18 ... }
 I19 ... } volné (nevyužito)
 I20 ... }
 I21 až I30 ... text pro typ vozidla (ALFA-VSTUP)
 I31 až I39 ... desítkové hodnoty znaků číslic (1, 2, 3, ..., 9)

J ... }
 J1 ... } pracovní v cyklech, v iteračním cyklu použity při
 J2 ... } interpolaci hodnoty přilnavosti
 J3 ... }

K0 až K8 ... konstanty v definicích regulační odchylky

K9 ... }
 K10 ... } volné (rezerva)

K11 ... zesílení P-složky regulátoru PID }
 K12 ... zesílení D-složky regulátoru PID } přední náprava
 K13 ... zesílení I-složky regulátoru PID }

K14 ... zesílení P-složky regulátoru PID }
 K15 ... zesílení D-složky regulátoru PID } zadní náprava
 K16 ... zesílení I-složky regulátoru PID }

K17 ... $\frac{K12}{C3}$ }
 K18 ... $\frac{K15}{C3}$ } konstanty pro výpočet D-složky regulátoru PID

L0 až L20 ... body zlomu λ [0, 100]

M ... počet rychlostních řezů v_v skluzové charakteristiky $F(\lambda, v_v)$
 M1 ... (M-1) - počet rychlostních intervalů v_v

M2 ... dopravní zpoždění signálu z akčního členu Y_{ac1} ke kroku výpočtu

M3 ... dopravní zpoždění signálu z akčního členu Y_{ac2} ke kroku výpočtu

N ... počet bodů zlomu λ v tabulce skluzové charakteristiky

N1 ... $(N-1)$ - počet lineárních úseků v rychlostním řezu skluzové charakteristiky $F(\lambda, v_v)$

P ... pracovní v iteračním cyklu

P1 ... }
P2 ... } pracovní v iteračním cyklu, signál z regulátoru PID

P3 ... $b_v(j-1)$ - paměť translačního zrychlení (zpoždění) vozidla

P4 ... volné (nevyužito)

P5 ... $M_{s1}(j-1) \sim \xi_1(j-1)$ }
P6 ... $M_{s2}(j-1) \sim \xi_2(j-1)$ } paměť setrvačnickového momentu kola

P7 ... $P1(j-1)$ }
P8 ... $P2(j-1)$ } poměrná síla urychlující píst akčního členu v $(j-1)$ kroku výpočtu

Q ... volné (nepoužito)

Q1 ... norma b_v [m/sec²]

Q2 ... norma v_v [m/sec]

Q3 ... norma s [m]

Q4 ... norma M_s [kpm]

Q5 ... $\frac{Q2}{r_{d1}} = \frac{Q2}{A5}$ - norma ω_1 [1/sec]

Q6 ... $\frac{Q2}{r_{d2}} = \frac{Q2}{A7}$ - norma ω_2 [1/sec]

Q7 ... $\frac{Q4}{I_1} = \frac{Q4}{A6}$ - norma ξ_1 [1/sec²]

Q8 ... $\frac{Q4}{I_2} = \frac{Q4}{A8}$ - norma ξ_2 [1/sec²]

- R ... translační rychlost vozidla v j-tém kroku
 R1 ... translační rychlost vozidla v (j-1) kroku (po výpočtu b_v)
 R2 ... počáteční rychlost vozidla
 R3 ... brzdná dráha
 R4 ... rychlost pro odstavení regulátoru [m/sec]

S0 až S3600 ... pole (blok) pro ukládání tabulek na MGP (200 vět)

- T ... pracovní, na konci výpočtu doba brzdění t_z
 T1 ... } časové konstanty akčního členu přední nápravy
 T2 ... } pro pohyb dopředu $\oplus$ (odbrždování)
 T3 ... } časové konstanty akčního členu přední nápravy
 T4 ... } pro pohyb zpět $\ominus$ (přibrždování)
 T5 ... } časové konstanty akčního členu zadní nápravy
 T6 ... } pro pohyb dopředu $\oplus$ (odbrždování)
 T7 ... } časové konstanty akčního členu zadní nápravy
 T8 ... } pro pohyb zpět $\ominus$ (přibrždování)

- U ... } pracovní proměnné iteračního cyklu
 U1 ... }

V0 až V35 ... rychlostní řez v_v skluzové charakteristiky $F(\lambda, v_v)$

- W ... pracovní pro výpočet hodnoty přílnavosti $\mu = F(\lambda, v_v)$
 W1 ... $\mu_1(j-1)$ } přílnavost v (j-1) kroku
 W2 ... $\mu_2(j-1)$ }
 W3 ... $\mu_1(j)$ } přílnavost v j-tém kroku
 W4 ... $\mu_2(j)$ }
 W5 ... $\Sigma W3$ } nápočty pro střední hodnotu přílnavosti $\bar{\mu}$
 W6 ... $\Sigma W4$ }

X0 až X12 ... univerzální pracovní proměnné

Y ... pracovní pro výpočet b_v v iteračním cyklu

Y1 ... $Y_{AC1}(j)$ }
 Y2 ... $Y_{AC2}(j)$ } poměrný zdvih akčního členu v j -tém kroku

Y3 ... $Y_{AC1}(j-1)$ }
 Y4 ... $Y_{AC2}(j-1)$ } poměrný zdvih akčního členu v $(j-1)$ kroku

Y5 ... $\dot{Y}_{AC1}(j)$ }
 Y6 ... $\dot{Y}_{AC2}(j)$ } rychlost zdvihu akčního členu v j -tém kroku

Y7 ... $\dot{Y}_{AC1}(j-1)$ }
 Y8 ... $\dot{Y}_{AC2}(j-1)$ } rychlost zdvihu akčního členu v $(j-1)$ kroku

Z ... pracovní při iteraci

Z1 ... $\lambda_1(j-1)$ }
 Z2 ... $\lambda_2(j-1)$ } skluz v $(j-1)$ kroku

Z3 ... $\lambda_1(j)$ }
 Z4 ... $\lambda_2(j)$ } skluz v j -tém kroku

Z5 ... $\Sigma Z3$ }
 Z6 ... $\Sigma Z4$ } nápočty pro střední hodnotu skluzu $\bar{\lambda}$

Z7 ... $\Sigma Z3^2$ }
 Z8 ... $\Sigma Z4^2$ } nápočty pro rozptyl skluzu S_{λ}^2

Z9 ... $\Sigma (Z3-Z1)^2$ }
 Z10 ... $\Sigma (Z4-Z2)^2$ } nápočty pro střední kvadratickou změnu skluzu

Z11 ... $\Sigma B13$ }
 Z12 ... $\Sigma B14$ } nápočty pro střední brzdový moment $\bar{M}_B$

Z13 ... $\Sigma B13^2$ }
 Z14 ... $\Sigma B14^2$ } nápočty pro rozptyl brzdového momentu S_{MB}^2

Příloha S

Ukázka průběžného tisku vypočtených veličin při simulaci
a tabulka kritériálních hodnot

