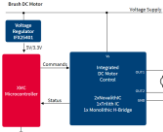


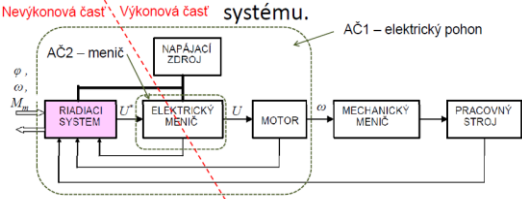
Akčné členy



1

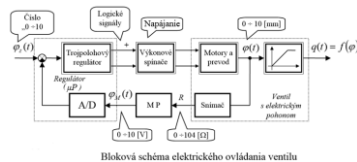
Akčné členy

Akčný člen realizuje väzbu medzi riadiacou jednotkou (nevýkonová časť) a riadeným systémom (prevažne výkonová časť)

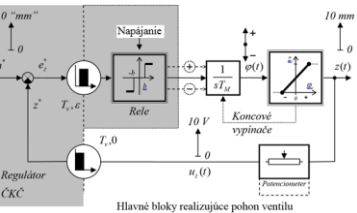


Hlavnou regulovanou veličinou môže byť natočenie rotora φ , rýchlosť otáčania ω , alebo elektromagnetický moment M_m

2



Blocková schéma elektrického ovládania ventilu



Hlavné bloky realizujúce pohon ventilu

3

Príklady:

Solenoid Actuator 3 mm 1.5 N 1.5 N 3.0 W

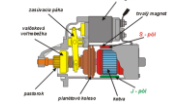
Kat. L 1 (24V/1779 - 10mm)	Maximálna dĺžka	3 mm
Typ: RTD-02-02-02020	Zvyšok dĺžky (mm)	1.5 N
Výrobca: KUMITE	Zvyšok dĺžky (mm)	1.5 N
	Maximálny výkon	3.0 W
	Maximálna napätie	24 VDC



Output of prototype BELAZ-75211 dump trucks, load capacity 175 metric ton, - basic truck for 170-200 tonne payload capacity range.



RTD02 - Ventil prívodu paliva



Elektromagnetický ventil 12V LED

Akčné členy: Elektromagnet

- je cievka s jadrom z magneticky mäkkého materiálu. Využívajú sa silové účinky magn. poľa.
- premenia energiu elektromagnetického poľa na mechanickú
- Vytvorený je z pevného jadra; pohyblivej kotvy; cievky.

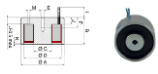
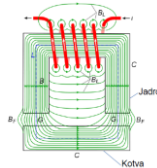
Klasifikácia elektromagnetov podľa napätia: **Jednosmerné** (kotva nemusí dosahovať do koncovnej polohy, vznikajú vibrácie)

Striedavé (kotva musí dosahovať do koncovnej polohy, vznikajú vibrácie)

Klasifikácia elektromagnetov podľa funkcie: **Prídržné** (používajú sa na upnutie feromagn. materiálov)

Parametre: - nom. výkon [W], napätie [V], max. prídržná sila [N]

Prístrojové (vykonávajú obmedzený pohyb – priamočiary/rotačný: Zdvihové Otočné Elektromagnetické ventily)

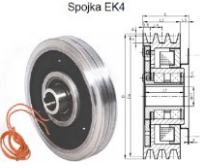


Akčné členy: Elektromagnet

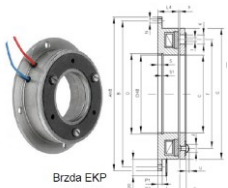
Klasifikácia elektromagnetov podľa funkcie: Elektromagneticky riadené spojky a brzdy – prenášajú moment

Parametre spojok: Moment [Nm], napájacie napätie [V], príkon [W], prúd [A]

Parametre brzd: Nominálny a statický moment [Nm], napájacie napätie [V], príkon [W], prúd [A]



www.pohony.cz



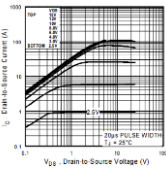
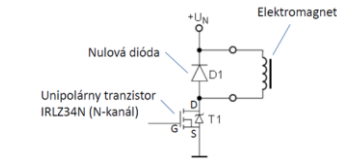
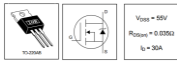
Brzda EKP



5

6

Akčné členy: Ovládanie elektromagnetu



Parametre tranzistora IRLY34N
„Logic-Level Gate Drive“ – tranzistor ovládaný TTL signálom
 $I_D = 30A$
 $U_{DSS} = 55V$
 $R_{DS(on)} = 0,035\Omega$

7

Princíp činnosti elektromotorov

Elektromotor:
- elektrické zariadenie premieňajúce elektrický prúd na mechanickú prácu, pohyb
- rotačný pohyb (rotačný motor) alebo
- lineárny pohyb (lineárny motor).

Generátor:
Zariadenie premieňajúce mechanickú prácu na elektrickú energiu (dynamo a alternátor);
Konštrukčne sú si elektromotory a dynamá resp. alternátory veľmi podobné;

Rozdelenie elektromotorov (podľa napätia)

- o Jednosmerné motory (DC)
 - s mechanickým komutátorom (jednoduché aplikácie)
 - elektrickým komutátorom (EC $\equiv$ BLDC motory)
- o Striedavý motor (AC)
 - asynchronné motory (napr. lokomotívy)
 - synchronné motory
 - s buďeným rotorom
 - s permanentnými magnetmi (SMPM)
 - krokové motory

8

Jednosmerné motory: motor na jednosmerný prúd

JM točivý elektrický stroj, v ktorom sa privádza jednosmerný elektrický prúd aj na komutátor (rotor) aj do vinutia statora.

Podľa zapojenia cievok statora a rotora rozoznávame jednosmerné motory:

- s cudzím budením alebo
- vlastným budením
 - sériové,
 - derivačné (paralelné zapojenie),
 - kompaundné (časť statorového vinutia zapojená do série, časť paralelne)

Výhody:

- jednoduchá regulácia otáčok v širokom rozsahu:
 - Zmenou napájacieho napätia, odporu v obvode kotvy (rotora), alebo budiaceho toku.
- veľký záberový moment;
- každý jednosmerný stroj môže pracovať aj ako motor aj ako generator;
- otáčky JM sú priamo úmerne napájaciemu napätiu a záťaži na výstupnom hriadeľi;
- výhodou oproti striedavým motorom je možnosť dosiahnuť ľubovoľné (reálne mechanicky dosiahnuteľné) otáčky (motory na striedavý prúd majú obvykle otáčky obmedzené frekvenciou elektrickej rozvodnej siete)

Nevýhody:

- Najväčšia nevýhoda JM – komutátor (napäťové straty, iskrenie zdroj elektromagnetického rušenia)

9

Jednosmerné motory: motor na jednosmerný prúd

Zloženie:

- rotor (kotva): dynamové plechy, vinutie a komutátor– stator; zložený je z:
 - hlavných (cievky budiaceho vinutia) a pomocných pólov;
 - kompenzačného vinutia.

Rotor: elektromagnet s pólami.

- elektrický prúd je do cievok rotora privádzaný cez komutátor - rotačný prepínač.
- komutátor
 - mechanický prepínač, ktorý spína veľké prúdy a je preto náročný na údržbu a nastavenie. Zároveň je mechanický a elektrický (iskrenie) veľmi namáhaný, a po čase je nutná výmena zberačov (uhlíkov), neskôr i celého komutátora (resp. rotora).
 - mení polaritu elektrického prúdu (polaritu magnetického poľa prechádzajúceho cievkami); => sily pôsobiace na póly rotora majú stále rovnaký smer. Vďaka zotrvačnosti sa motor točí stále rovnako.
 - počet prepínacích plôšok komutátora, minimálne dve. Je funkciou počtu cievok.
 - počet pólov rotora ovplyvňuje plynulosť chodu motora, a silu potrebnú na jeho rozbeh (záberový moment).
 - čím viac pólov, tým plynulejší chod. Obvyklý počet je štyri.

10

Princíp generovania elektromagnetického momentu

Vzťah medzi silou a momentom:

$$M_m = F \cdot r = l B I \cdot r$$

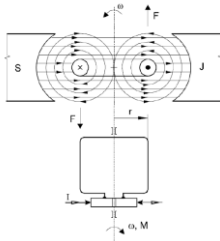
Okamžitá hodnota momentu:

$$M_m = M_{m \max} \sin(\varphi) = N B I \cdot \sin(\varphi)$$

Stredná hodnota momentu

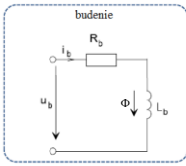
Viacpólového jednosmerného stroja:

$$M_{st} = C^* \Phi I$$

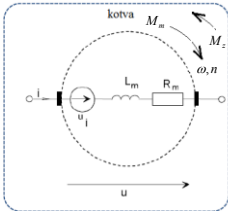


11

Jednosmerné motory: Náhradná elektrická schéma



$$u_b = R_b i_b + \frac{d\Phi}{dt}$$
$$\Phi = N_b \lambda i_b = L_b i_b$$



$$u = R_m i + L_m \frac{di}{dt} + u_i$$

$$u_i = C^* \Phi \omega \quad [V; -, Vs, s^{-1}]$$

C^* - konštrukčná konštanta

12

Jednosmerné motory: JM s permanentným magnetom

Výhody:

- jednoduchá zmena smeru otáčania; zmení sa polarita napájania.
- rýchlosť JM je priamo úmerná veľkosti napájacieho napätia a záťaži na výstupnom hriadeľi (brzdny moment.).
- rýchlosť JM je možné regulovať zmenou vstupného napätia.

Nevýhody:

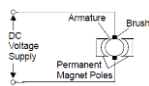
- výkon JM je závislý od veľkosti permanentného magnetu => malé motory.
- permanentný magnet časom stráca magnetické vlastnosti.

JM s dvoma permanentnými magnetmi a dvojpolovým rotorom. Rotor je napájaný cez komutátor pomocou jednosmerného napätia.

Sťator je tvorený dvoma permanentnými magnetmi (modrý a červený poloból, farba reprezentuje polaritu sťatoru).

Komutátor (oranžová farba) spôsobí zmenu polaritu prúdu + a - na (- a +) po každom pootočení o 180°. Tým dôjde k zmene smeru indukčných siločiar v cievke.

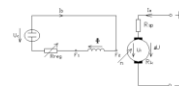
Súhlasné póly elektromagnetu (magnetu) sa odpudzujú a rozdielne priťahujú. Táto sila spôsobí roztáčanie rotora. Atď.



13

Jednosmerné motory:

Elektromotor s cudzím budením



Ak má motor dosiahnuť max. rozběhový moment („nulové otáčky“) musí byť plne nabudený, t.j. jeho budiace vinutie musí byť pripojené na nezávislý zdroj.

Magnetické pole sťatoru je nezávislé na rýchlosti otáčania rotora. Po pripojení U je indukované napätie nulové => veľký prúd kotvy.

To znamená:

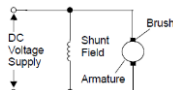
- treba obmedziť spúšťač prúdu na prípustnú hodnotu
- vytvorí vhodný rozběhový moment pre pracovný mechanizmus

Otáčky možno riadiť nasledovne:

- zmenou napätia kotvy
- zmenou magnetického toku
- zmenou odporu obvodu kotvy

14

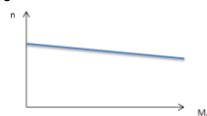
Jednosmerné motory: Derivačný elektromotor Shunt-wound Brushed DC (SHWDC)



Elektromagnet sťatoru je napájaný paralelne s vinutím rotora.

Výhody:

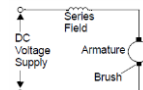
- magnetické pole v budiacej cievke a kotve sú nezávislé.
- tento motor sa dobre reguluje rýchlosť
- nemá permanentný magnet => je robustnejší ako PMDC
- otáčky sú menej závislé od záťaže.
- prúd sťatoru možno regulovať nezávisle.



Záťažová charakt. DJM

15

Jednosmerné motory: Sériový JM Series-wound Brushed DC (SWDC)



Výhody:

- točivý moment je nepriamo úmerný otáčkam, čo znamená, že stojací elektromotor má veľký točivý moment. Tento efekt sa preto využíva predovšetkým v dopravných strojoch a ako pohon v doprave.

Nevýhody:

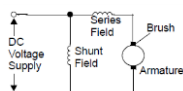
- sériový motor sa nesmie spúšťať nezaťažený a počas prevádzky musí byť zabezpečený tak, aby sa nemohol odľahčiť, pretože by sa ľahko mechanicky poškodil



Záťažová charakt. SJM

16

Jednosmerné motory: Kompaundný elektromotor Compound Wound (CWDC)



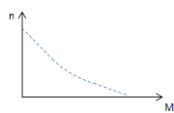
Je kombináciou oboch predchádzajúcich (SWDC a SHWDC)

Výhody:

- preberá dobré vlastnosti oboch predchádzajúcich
- veľký záberový moment (vlastnosť sériového motora)
- konštantná rýchlosť otáčania (motor s paralelným budením).

Zmena vlastností sa dosahuje

- zmenou počtu závitov sériového a paralelného vinutia.
- zaraďovaním rezistorov do vinutí



Záťažová charakt. SJM

17

Jednosmerné motory:

Riadenie JM

Riadenie použijeme, ak treba regulovať rýchlosť otáčania. Pomocou regulátora regulujeme prúd v obvode. Tu sa zameriame na PWM moduláciu napájacieho napätia BDC motorov. Z pohľadu strát je to výhodnejší spôsob riadenia ako použitie klasického analógového regulátora. Klasické analógové riadenie vyžaduje zapojiť do série premenlivý rezistor s JM.

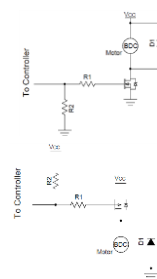
BDC motory možno prevádzkovať v rôznych režimoch:

- Otáčanie len v jednom smere.
- Použitie N FET tranzistora nepožaduje nutne budič.

Funkcia budiča FET tranzistora:

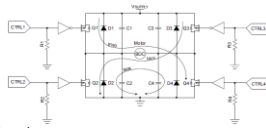
1. upraví TTL signál budiaci MOSFET na úroveň napájacieho napätia
2. dodá dostatok prúdu na ovládanie MOSFET,
3. realizuje posunutie úrovne signálu pri H/2 aplikáciách.

Odpor R1 chráni uP pred prúdovou špičkou a R2 vypne budiaci tranzistor keď je výstup uP v treťom stave.



18

Jednosmerné motory:
Riadenie JM



BDC motory možno prevádzkovať v rôznych režimoch:

- Otáčanie motora v oboch smeroch vyžaduje použitie H mostíka.
- Prúd môže tiecť JM v oboch smeroch.

H mostík sa skladá z dvoch H/2 mostov. Transistory Q1 a Q2 tvoria prvý H/2 mostík. Transistory Q3 a Q4 tvoria druhý H/2 mostík. Každý z týchto H/2 mostíkov dokáže pripojiť jednu svorku BDC motora k napájaniu (plus) alebo k zemi. If Q1 = „on“ & Q2 = „off“ then Svorka A = plus If Q3 = „off“ & Q4 = „on“ then Svorka B = zem Šípka označená ako IFWD ukazuje smer prúdu.

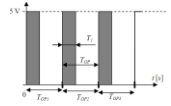
H-BRIDGE MODES OF OPERATION

	Q1 (CTRL1)	Q2 (CTRL2)	Q3 (CTRL3)	Q4 (CTRL4)
Forward	on	off	off	on
Reverse	off	on	on	off
Coast	off	off	off	off
Brake	off	on	off	on

Diódy D1 až D4 ochraňujú tranzistory pri vypnutí. Pri RESETe uP nesmia byť tranzistory zopnuté.

19

Jednosmerné motory:
Riadenie JM, regulácia rýchlosti



Rýchlosť BDC motora je úmerná pripojenému napätiu: $\omega = k \cdot U_{av}$

Ak použijeme PWM riadenie pomocou PWM generujeme strednú hodnotu napájania. Vinutie motora pôsobí ako dolnoproepustný filter. => stabilný, konštantný prúd vinutím.

$$U_{av} = d \cdot U_{supply}; \quad d = \frac{T_{on}}{T_{off}}; \quad f_{op} = \frac{1}{T_{off}}$$

Ako zvolíme f_{op} PWM signálu???

Nízka f_{op} => hluk $\leftarrow \rightarrow$ Vysoká f_{op} => straty na spinačoch.

„rule of thumb“ $f_{op} = 4 \text{ kHz}$ až 20 kHz .

Správnejší postup je: f_{op} vypočítame.

Použitie PWM riadenia predpokladá, že uP má zabudovanú perifériu – PWM modul.

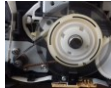
Spätná väzba: žiaden motor nie je ideálny. Opatrebovanie komutátora, oteplenie, záťaž, ... pôsobí na rýchlosť otáčania motora.

- SV možno realizovať pomocou snímača rýchlosti

- využitie indukovaného napätia generovaného JM (BEMF) v SV. BEMF napätie je úmerné otáčaniu rotora. Meriame medzi PWM impulzmi, vtedy keď je jedna strana motora nepripojená a druhá je uzemnená. V tomto prípade pôsobí JM ako generátor. Nie všetky motory sú rovnaké, => prevodovú charakteristiku treba „ociachovať“.

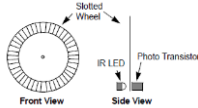
20

Jednosmerné motory:
Riadenie JM, regulácia rýchlosti, snímač rýchlosti



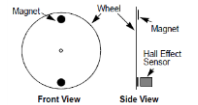
Optický snímač – inkrementálny snímač

- optický kotúč s riskami po obvode namontovaný na hriadeľ
- infra led a foto tranzistor sú nepohyblivé
- vyhodnocovanie pomocou T/C uP
- ak sa kotúč otáča, fototranzistor prepína medzi „on a off“. Frekvencia je mierou otáčania sa motora.



Halová sonda

- rotačný prvok s jedným alebo viacerými magnetmi na obvode je pripojený k rotoru. Nepohyblivý snímač generuje TTL impulzy, keď prechádza magnet povedľa.



21

Krokové motory:

Špeciálny typ viacpólového synchronného stroja. KM sa podobajú na BLDC motory. Komutáciu zabezpečuje riadiaci systém. KM nevyžadujú použitie snímačov.

Použitie: všade tam, kde treba presne riadiť otáčky a polohu

Princíp:

- prúd pretekajúci cievkou statora vytvorí magn. pole, ktoré pritiahne opačný pól magnetu (motor zostane v tejto polohe stáť).
- vhodným zapojením cievok vznikne rotujúce magn. pole.
- rýchlosť otáčanie je obmedzená (strata krokov).

Riadenie:

- unipolárne: - prúd preteká jednou cievkou
- nevýhodou je malý krútiaci moment
- bipolárne: - prúd preteká dvoma protiahlými cievkami (magn. pole je opačné).
- výhodou je väčší krútiaci moment ; stabilnejší chod motora

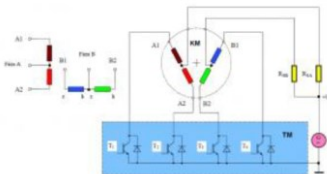
Vlastnosti KM:

- bezkefóvé; => nevznikajú iskry.
- udržiavajú krútiaci moment, aj pri nulových otáčkach.
- môžu pracovať ako otvorený systém - bez SV.
- sú nezávislé od záťaže. Majú obmedzenú rýchlosť otáčania (strata kroku).
- trvalý odber prúdu, aj pri nulovej rýchlosti otáčania.

22

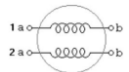
Krokové motory: Unipolárne riadenie krokového motora

Unipolárne KM (UKM) majú dve rovnaké oddelené cievky s vyvedeným stredom. Na napätie sa pripojí vždy len jedna cievka pomocou tranzistora. Stredový vodič je pripojený na plus pól.



23

Krokové motory: Bipolárne riadenie krokového motora



Bipolárne KM (BKM) majú dve rovnaké oddelené cievky. **NEMAJÚ** vyvedený stred.

BKM majú iné riadenie UKM. Zmena prúdu cievkami sa mení zmenou polarít. BKM používajú celú (nie polovicu) cievku => väčší moment.

Treba zabezpečiť zmenu polarít napätia tak, aby prúd v

cievke mohol tiecť oboma smermi.

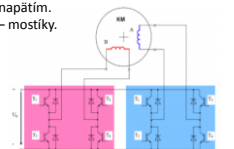
Realizuje sa to pomocou tzv. H – mostíka.

Ak sú zopnuté spínače A a D prúd preteká jedným smerom.

Ak sú zopnuté spínače C a B prúd preteká druhým smerom.

Diódy chránia spínače pred spätným indukovaným napätím.

BKM obsahuje dve cievky, => potrebujeme dva H – mostíky.



24

Krokové motory: Jednofázové - dvojfázové riadenie

Jednofázové riadenie - magnetické pole generuje jedna cievka (resp. dvojica cievok pri bipolárnom buzení).
Dvojfázové riadenie – dve susedné cievky generujú zhodné magnetické pole. Zvyší sa tak krútiaci moment. Spotreba stúpe dvojnásobne.

Plný - polovičný krok (drobenie kroku)

Riadenie s plným krokom znamená, že na jednu otáčku potrebujeme toľko krokov , koľko je na statore pólov. Dá sa realizovať aj jedno- aj dvoj-fázovým riadením.
Pomocou riadenia s polovičným krokom dosiahneme dvojnásobnú presnosť. Prakticky ide o striedanie jedno- a dvoj-fázového riadenia.



Predpokladáme použitie KM so 4 krokmi na otáčku.
Vysvetlivky k obrázkom.
„0“ – hnedá cievka: cievkou netečie prúd.
„-“ – modrá cievka: cievkou tečie prúd. Cievka priťahuje červený pól magnetu.
„+“ – červená cievka: cievkou tečie prúd. Cievka priťahuje modrý pól magnetu.

25

Krokové motory: Jednofázové- dvojfázové riadenie, drobenie kroku

Unipolárne jednofázové riadenie s plným krokom

				
Cievka 1	-	0	0	0
Cievka 2	0	-	0	0
Cievka 3	0	0	-	0
Cievka 4	0	0	0	-

Unipolárne dvojfázové riadenie s plným krokom

				
Cievka 1	-	0	0	-
Cievka 2	-	-	0	0
Cievka 3	0	-	-	0
Cievka 4	0	0	-	-

Unipolárne riadenie s polovičným krokom

							
Cievka 1	-	-	0	0	0	0	-
Cievka 2	0	-	-	-	0	0	0
Cievka 3	0	0	0	-	-	-	0
Cievka 4	0	0	0	0	0	-	-

25

Krokové motory: Jednofázové- dvojfázové riadenie, drobenie kroku

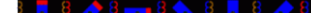
Bipolárne jednofázové riadenie s plným krokom

				
Cievka 1	-	0	+	0
Cievka 2	0	-	0	+
Cievka 3	+	0	-	0
Cievka 4	0	+	0	-

Bipolárne dvojfázové riadenie s plným krokom

Cievka 1	-	+	+	-
Cievka 2	-	-	+	+
Cievka 3	+	-	-	+
Cievka 4	+	+	-	-

Bipolárne riadenie s polovičným krokom

								
Cievka 1	-	-	0	+	+	+	0	-
Cievka 2	0	-	-	-	0	+	+	+
Cievka 3	+	+	0	-	-	-	0	+
Cievka 4	0	+	+	+	0	-	-	-

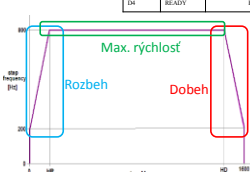
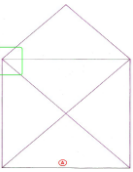
27

Pr.: Riadenie dvoch KM; Súradnicový zapisovač



Kresliaca plocha: 260x185 mm (papier formátu A4).
Krok motora: 0,1 mm => 2600 x 1850 krokov.
Ovládanie motorov pomocou jednoduchéj RJ. (5 TTL signálov).
Max. rýchlosť pohybu: 100 mm/s

Signal	Name	Meaning
D0	PEN	Pen Up / Pen Down
D1	DIR	Positive / Negative Direction
D2	STEP	Do A Single Step
D3	SELECT	Horizontal / Vertical Movement
D4	READY	Plotter is ready



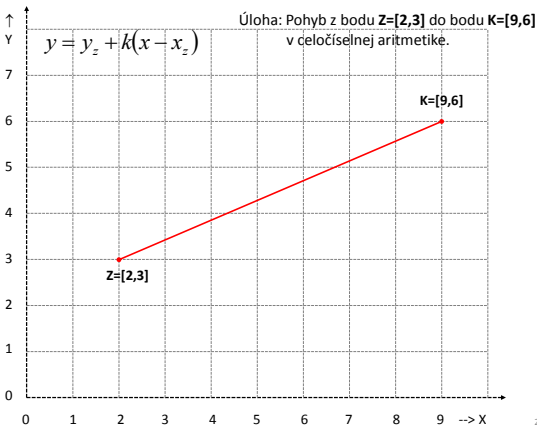
28

Pr.: Algoritmus lineárneho interpolátora; Celočíselná aritmetika

```
void lin_interpolator_dxy(int dx,int dy)
{
//kontrola rozlišení M...
// inicializácia a nastavenie premenných
const unsigned char *T_0_rot_cas;
C = ZV = 0;
P = max(abs(dx),abs(dy));
DEL = min(abs(dx),abs(dy));
// * nastavenie hraníc rozbehu a dobehu dominantného motora
{
while(C < P)
{
// minimalne v dominantnom motore vykonaj krok
Rabs(DX) = abs(DY) // vyber dominantného motora
if (dx > 0) { krok_motora(x+); XSUR++; }
if (dx < 0) { krok_motora(x-); XSUR--;}
}
else
{
if (dy > 0) { krok_motora(y+); YSUR++; }
if (dy < 0) { krok_motora(y-); YSUR--;}
}
ZV+=DEL;
if(ZV==P)
{
// krok v nedominantnom motore
ZV -= PK;
if(abs(DX) == abs(DY)) // vyber nedominantného motora
{
if (dx > 0) { krok_motora(x+); XSUR++; }
if (dx < 0) { krok_motora(x-); XSUR--;}
}
else
{
if (dy > 0) { krok_motora(y+); YSUR++; }
if (dy < 0) { krok_motora(y-); YSUR--;}
}
}
// Nastavenie okamžitej pracov. frekvencie (rozbeh, dobeh)
{
.....
}
}
```

Prečo celé čísla??? Lebo:
Číslkové riadiace systémy používajú kvantovanie v čase a v amplitúde. Ak si to neuvedomíme, dopustíme sa takých závažných omylov, ako boli napr.:
– ARIANE 5: Nedôsledne ošetrovaný prevod čísla float na celé číslo, ktoré sa posielalo na prevodníky.
– problém spôsobí aj delenie nulou – Yorktown.
– počítač počíta ináč ako my ľudia. Napr. pre nás je desať krát (nula celá jedna) 1_e_d_n_a. Počítač nevie číslo nula celá jedna presne zobrazíť. Toto si dodatočne
neuvedomili
programátori rakiet Patriot.

29



27

