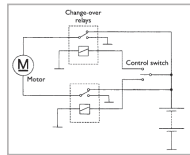


# Mikropočítačové Systémy MIPS Prednáška 12. Mikropočítačové riadenie sústavy 1. rádu.

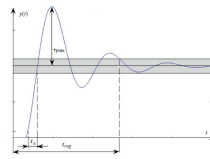
„Matlab Simulink“

Podstatnú časť výkonovej elektroniky áut možno charakterizovať slovami: „VYPNI / ZAPNI“

Aplikujeme len to čo vieme - poznáme.  
Všetko so všetkým súvisí: ROBUSTNOSŤ.



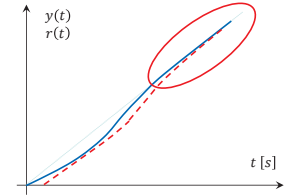
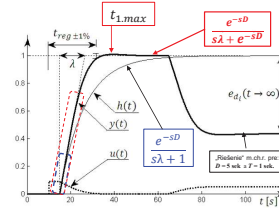
Ako by mal vyzerat' priebeh regulačného pochodu?



$$F(s) = \frac{1}{(s\lambda)^2 + 2bs\lambda + 1}$$

$$\lambda = 1[s]; b = 0,9$$

Korene  $F(s)$  môžu byť aj komplexne združené



VTS:

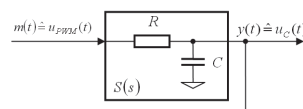
Cieľom syntézy regulačného obvodu:  
Požadujem nulový vplyv akéhokoľvek vonkajšieho vstupného signálu na regulačný odchýlku, a to aj vtedy, keď regulačná odchýlka neexistuje.

$$\text{MIMO: } S_C(s): U(s) = M^{-1}(s)F(s)(I - F(s))^{-1}E(s) - V(s)Y(s)$$

$M(s)$  - matica požadovaných vlastností regulovaného systému  $S(s)$ .  
 $F(s)$  - matica požadovaného správania sa regulovaného systému, ako celku.  
 $V(s)$  - matica spätných väzieb.

$$\text{SISO: } S_C(s): U(s) = \frac{F(s)}{1-F(s)} \frac{1}{M(s)} E(s) - V(s)Y(s)$$

Mikropočítačové riadenie sústavy 1. rádu.



$$R = 10 \text{ k}\Omega \text{ a } C = 50 \mu\text{F} \quad S(s) = \frac{K}{1 + sT} = \frac{1}{1 + 0,5s}$$

$$T = R * C = 10 \text{ k}\Omega * 50 \mu\text{F} = 50 * 10^{-2} \text{ [s]} = 0,5 \text{ [s]}$$

$$K = 1 [-]$$

Cieľ: navrhnuť a realizovať PS regulátor, tak aby bolo zvlnenie menšie ako rozlíšenie A/D prevodníka.  
Použiť celočíselnú aritmetiku.

$$m(t) = m_0 + K_R \left( e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau \right)$$

$$\text{PS}_S : m(nT_s) = m_P(nT_s) + m_S(nT_s) + m_0$$

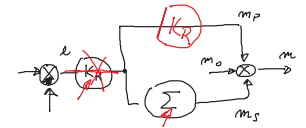
$$m_P(nT_s) = K_R e(nT_s)$$

$$m_S(nT_s) = m_S((n-1)T_s) + K_R \frac{T_s}{T_I} e((n-1)T_s)$$

$$e(nT_s) = w_z(nT_s) - y(nT_s)$$

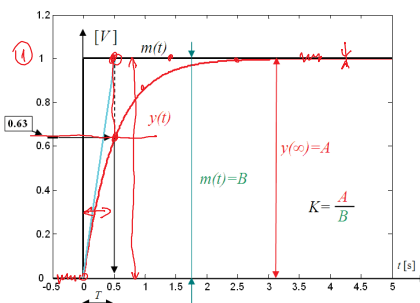
$m_0$  - posunutie akč. zásahu

$T_s$  - perióda vzorkovania



?!? ?!? ?!? ?!? ?!? ?!?  
Koľko krát za sekundu zbehnú algoritmus PS regulátora na: UNO, MEGA, DUE? ?!? ?!? ?!? ?!? ?!? ?!?

Identifikácia parametrov regulovanej sústavy:



$m(t)$  - analógová veličina

$$S(s) = \frac{K}{1 + sT} = \frac{A}{1 + sT}$$

$$K = \frac{A}{B} = \frac{1[V]}{1[V]} = 1[-]$$

$$T = 0,5[s]$$

$$t = -2T$$

$$t = T$$

$$t = 2T$$

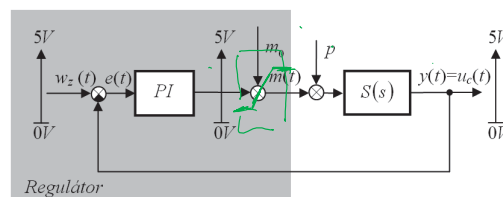
Výpočet spojitého PI regulátora:

$$\text{Želaná dynamika systému: } T_w = 0,5 [s]. \lambda$$

Metódou ID určíme:

$$\text{- štruktúra: } PI(s) = K \left( 1 + \frac{1}{T_I s} \right); \quad m(t) = m_0 + K_R \left( e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau \right)$$

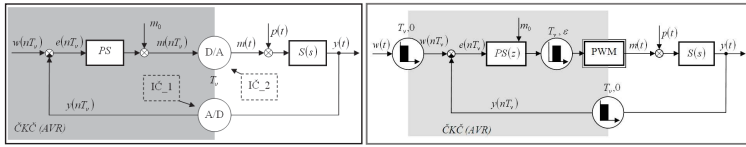
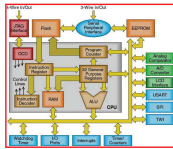
$$\text{- parametre regulátora: } K_R = 1[-] \text{ a } T_I = 0,5 [s]$$



Prepočet spojitého PI regulátora na diskretný PS regulátor:

$$PS_S \begin{cases} m(nT_v) = m_p(nT_v) + m_s(nT_v) + m_0 \\ e(nT_v) = w_z(nT_v) - y(nT_v); m_p(nT_v) = K_R e(nT_v) \\ m_s(nT_v) = m_s((n-1)T_v) + K_R \frac{T_v}{T_i} e((n-1)T_v) \end{cases}$$

Dvakrát  $T_v$

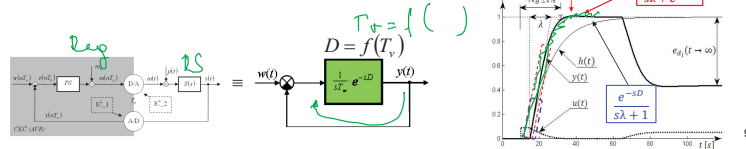


Výpočet periódy vzorkovania:

Môžeme použiť:

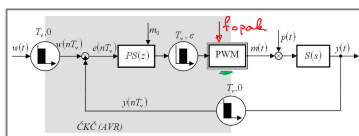
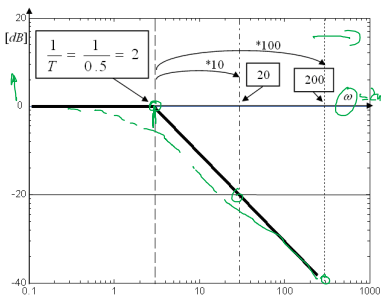
- a) Shannon - Kotelnikov teorém:  $T_v < \frac{\pi}{2} [s] \approx 1.57 [s]$
- b)  $\frac{1}{6} \div \frac{1}{10}$  najväčšej časovej konštanty:  $T_v \in (83 [ms] \div 50 [ms])$
- c) Metóda bulharskej konštanty. Rule of thumb.
- d) Riešenie „malej“ charakteristickej rovnice ( $sT_w + e^{-sD} = 0$ )

dobře regulovaného číslicového regulačného obvodu pomocou MHR.



PWM vo funkcii D/A prevodníka:

Určenie periódy opakovania PWM bloku pomocou ALF charakteristik.



Nech  $\omega_{op} = 200 [rad s^{-1}]$  potom  $T_{op} \approx 30 [ms]$

Amplitúda 1. harmonickej signálu  $u_1(t)$  je 31 [mV] a 3. harmonickej je 3.5 [mV].

31 [mV] >> „LSB“

NEVYHOVUJE

Výpočet periódy vzorkovania:

Nemôžeme presnejšie regulovať ako meriame. Predpokladáme použitie 10 bitového prevodníka a  $U_{REF} = 5.000 [V]$ .

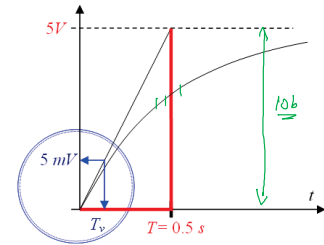
1 bit, LSB, odpoveď  $\frac{5V}{1024} = 4.88 [mV] \approx 5 [mV]$

Určenie najmenej hodnoty periódy vzorkovania:

Stačí riešiť trojčlenu:

$$\frac{T_v}{T} = \frac{5 mV}{5 V}$$

$$T_v = 0.5 [s] * \frac{5 [mV]}{5 [V]} = 500 [\mu s]$$



Výpočet periódy vzorkovania (d):

Predpokladajme:

- želaná dynamika riadenia  $T_w = T$ .
- relatívne posunutie akčného zásahu  $\epsilon = 1$ .
- PS regulátor navrhne tak (prepočítame PI na PS), aby bola perióda vzorkovania

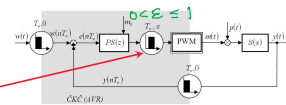
$$T_v = 0.22 T_w$$

Potom:

- bude prechodný proces odpovedať vlastnej sústave 2. rádu s prerégulovaním menším ako 1%. Doba regulácie bude  $t_{reg} \approx 2.84 T_w + \epsilon_v T_v$  (+ vzorkovanie nemusí byť synchronné so vznikom skoku riadenia).

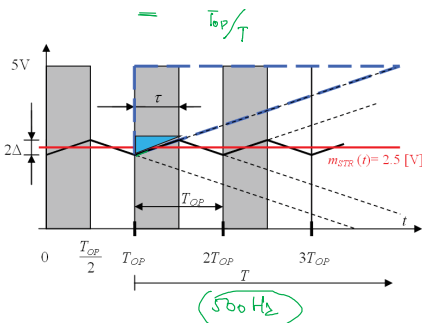
Pre  $T = 0.5 [s]$  je  $T_v \leq 0.22 T_w = 0.22 \cdot 0.5 = 0.11 [s]$

Ak bude relatívne posunutie akčného zásahu  $\epsilon = 0$ , bude prechodný proces odpovedať sústave 1. rádu, a BUDE TRVAŤ DLHŠIE



PWM vo funkcii D/A prevodníka:

Určenie periódy opakovania PWM bloku pomocou maximálneho zvlnenia regulovanej veličiny:



Chceme zvlnenie menšie ako

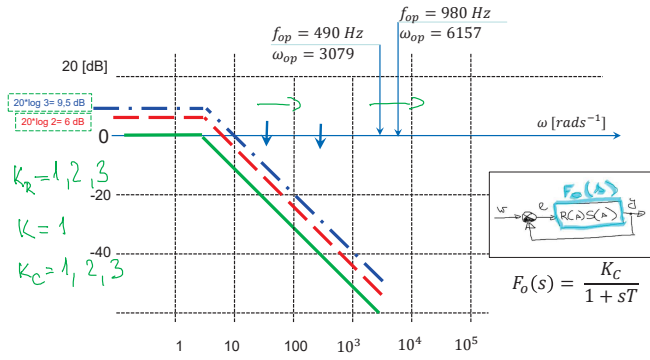
$$LSB/2 = 2.5 [mV]$$

Stačí riešiť trojčlenu.

Riešením „ $\Delta$ “

$$\frac{2.5 [V] + \frac{LSB}{2}}{LSB} = \frac{T}{T_{op} \cdot 2}$$

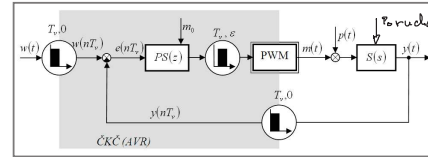
je  $T_{op} \approx 2 [ms]$



### RC člen, regulácia napätia na kondenzátore.

Úlohy:

1. Identifikujte parametre regulovanej sústavy – RC člen. Rezistor 10 kΩ a kondenzátor 47 uF. Doplňte, dokreslite do prechodovej charakteristiky teoretický priebeh (použite identifikované parametre K a T).
2. Pre RC člen (10 kΩ a 47 uF) Navrhnete P regulátor. Akčný zásah PWM signál. Navrhnete parametre PWM signálu (frekvenciu opakovania). Navrhnete P (zosilnenie 1, 2 a 3) regulátor a vypočítajte trvalú regulačnú odchýlku pre  $w_{zel} = xxxV$ . Výsledky porovnajte s nameranými. Ako sa mení dynamika uzatvoreného regulačného obvodu?
3. Pripojte záťaž RC regulovanej sústavy . Paralelne k C pripojte rezistor cca 20 – 30 kΩ. P zložka regulátora opäť 1, 2 a 3. Zistite ako sa mení veľkosť trvalej regulačnej odchýlky a dynamika pri poruche.
4. Bonus. Doplňte program regulátora o I zložku a navrhnete parametre regulátora.
  - Použite celočíselnú aritmetiku. Vysvetlite prečo vznikne trvalá regulačná odchýlka aj pre PI regulátor.
  - Upravte I zložku regulátora, tak aby bola trvalá regulačná odchýlka nulová.

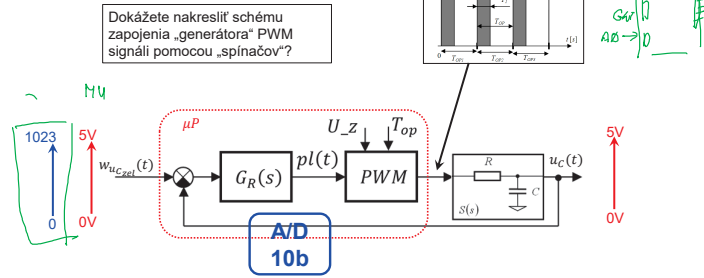


13

14

### Opakovanie:

PWM signál - ( $pl, T_{op}$ ).  
 Akčný zásah  $m(t) = pl(t)$  realizujeme ako PWM signál.  
 Predstavte si, že ho realizujete pomocou baterky (5V) a prepínača/vypínača, relé, ..



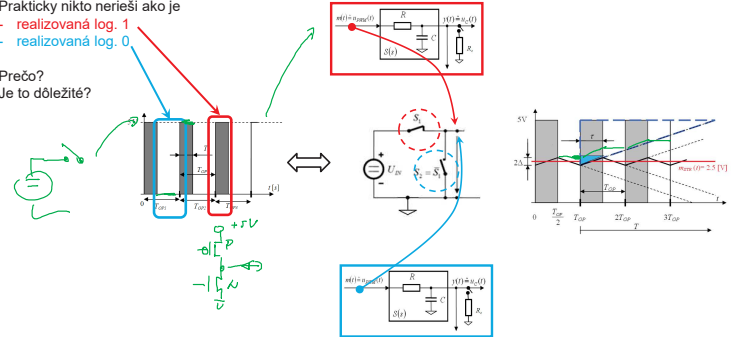
PWM signal je charakterizovaný pojmami ako ( $pl, T_{op}$ )

Prakticky nikto nerieši ako je

- realizovaná log. 1
- realizovaná log. 0

Prečo?

Je to dôležité?



15

16

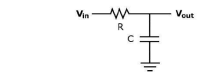


Fig. 2. RC circuit

Printouts of the 16th IFAC Conference on Programmable Devices and Embedded Systems High Tatras, Slovakia, October 29-31, 2019

### Arduino Support for Personalized Learning of Control Theory Basics \*

Pavol Bištek \*

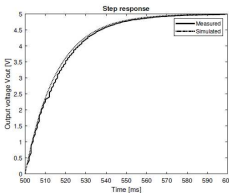


Fig. 8. Step responses of RC circuit

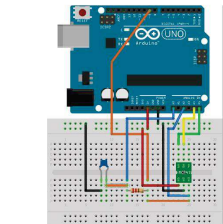
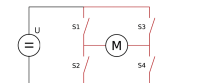
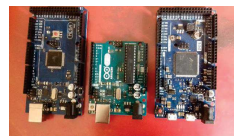
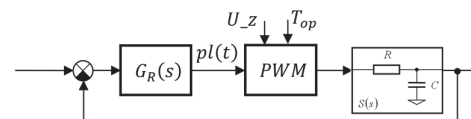
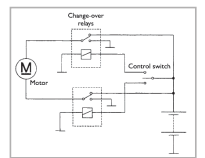
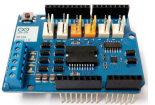


Fig. 3. RC circuit with Arduino and D/A converter in Fritzing

### ARDUINO: PWM

BOARD	PWM PINS	PWM FREQUENCY
Uno, Nano, Mini	3, 5, 6, 9, 10, 11	490 Hz (pins 5 and 6: 980 Hz)
Mega	2 - 13, 44 - 46	490 Hz (pins 4 and 13: 980 Hz)
Zero *	3 - 13, A0 (14), A1 (15)	732 Hz
Due **	2-13	1000 Hz



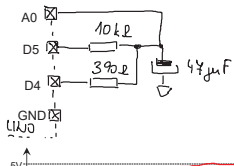
[http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?aux=Activities\\_RCcircuitA](http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?aux=Activities_RCcircuitA)

17

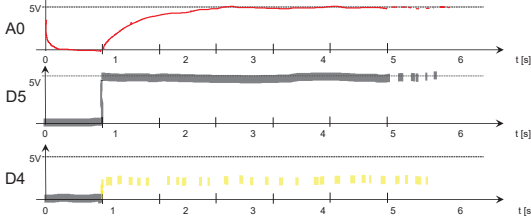
18

Prechodová charakteristika. Meranie parametrov K, T.

$$S(s) = \frac{K}{1+sT}$$

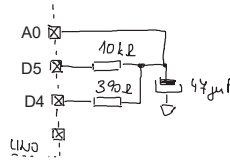


Teoretické hodnoty:  
 $K = 1[-]$   
 $T = 10k\Omega * 470\mu F = 470 [ms]$

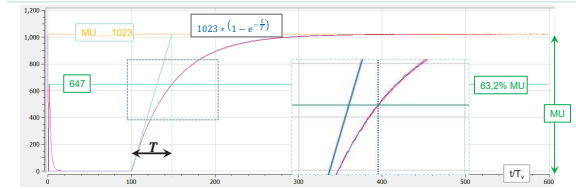


Prechodová charakteristika. Meranie parametrov K, T.

$$S(s) = \frac{K}{1+sT}$$

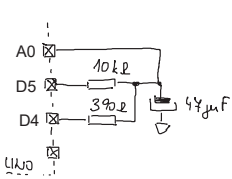


$K = \frac{5V}{5V} = \frac{1023}{1023} = 1[-]$   
 $T = 48,5 * 10ms = 485 [ms]$

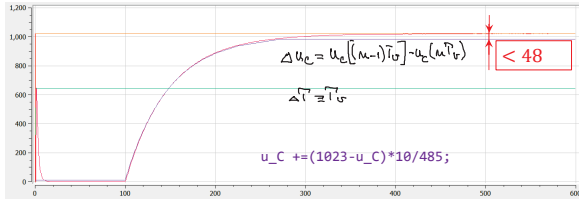


Prechodová charakteristika. Meranie parametrov K, T.

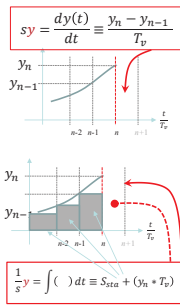
$$S(s) = \frac{K}{1+sT} \hat{=} \frac{u_c(t)}{u_{1023}(t)}$$



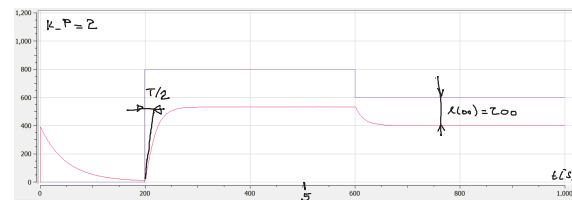
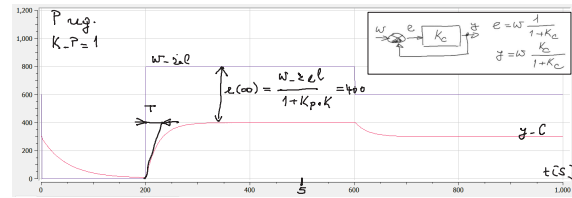
$u_c = \frac{1}{sT} (u_{1023} - u_c)$   
 $\Delta u_c = (u_{1023} - u_c) \frac{1}{sT}$   
 $\Delta u_c = (u_{1023} - u_c) \frac{s}{T}$



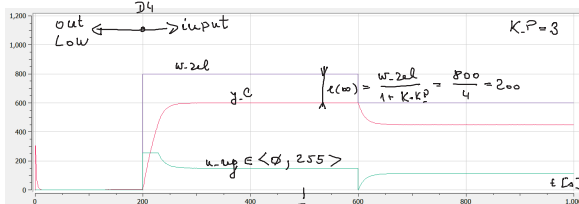
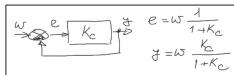
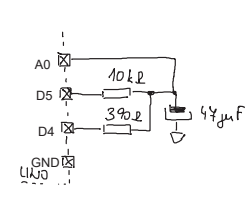
Existuje OP a tzv. Ruská škola, kde platí:  $s \equiv \frac{d}{dt}$



21



22



23

```
int main(void){
  adc_init();
  ini_TC2(); // Tv_zaklad = 2ms
  ini_PWM(); // Ini PWM
  /* Konfiguracia UART:Tr */
  ini_USART0(MYUBRR); // 115200Bd
  sei(); // Enable interrupts in general

  printf(Riadok,"P reg. RC clen n°" ); //
  zob_text_UART(Riadok);
  // na zaciatku vybijem kondenzator
  set_bit(PORTD,PiNB); // output
  clear_bit(PORTD,PiNB); // LOW
  while (1) {
    ...
  }
}

void adc_init(void){
  ADMUX = (0<<REFS0)|(1<<REF50);
  // ADC - nastavenie zdroj. napatia
  ADCSRA = (1<<ADSC)|(1<<ADIF)|(1<<ADIFSC);
  // nastavenie predbeha
  // fosc = 125kHz
  // trvanie jedneho prevodu cca 0,1ms
  // zarovnanie doprava
  ADMUX = (ADMUX & 0xF8)|(1<<ADIFSC);
  ADCSRA |= (1<<ADSC)|(1<<ADIF);
  // spustenie prevodu, povolenie prerušenia od AD
}

ISR(ADC_vect){
  // precitanie AD prevodu kanal 0;
  y_C = ADC; // precitanie ADB
  // spustenie prevodu, povolenie prerušenia od AD
}

uint16_t adc_read(uint8_t a_pin){
  a_pin &= 0x07;
  ADMUX = (ADMUX & 0xF8)|a_pin;
  ADCSRA |= (1<<ADSC); // spustenie prevodu
  while(ADCSRA & (1<<ADSC));
  return (ADC);
}

ISR(TIMER2_OVF_vect)
{ // tato slucka sa vykona kazde 2,0ms
  OCR2A = OCR2A_f_opak_TC2;
  set_bit(ADCSRA,ADSC);
  // spustenie dalšieho prevodu ADCS = TRUE
  if (!poc_TV){
    flag_TV = 1; // priznak vypoctu PI reg.
    poc_Line++;
    poc_TV = con_TV;
  }
} else poc_TV--;

void ini_TC2(void){
  // Nastavenie TC2
  // COM2A[1:0] COM2B[1:0] WGM2[1:0]
  TCCR2A = 0b00000011; // OC2B PWM mod = 7
  // WGM2 CS0[2:0]
  TCCR2B = 0b00001101; // fosc/128
  OCR2A = OCR2A_f_opak_TC2;
  // nastavenie frekvencie opakovania na 2ms
  TIMSK2 = (1<<TOIE2);
  // Enable interrupts @ overFlow TC2 MOD 7
}
}
```

24

```

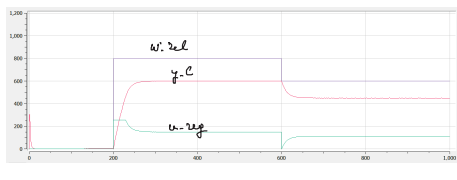
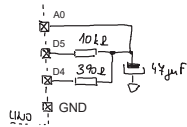
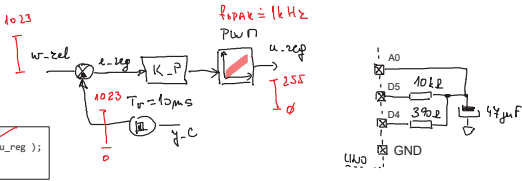
void P_reg(void){
  e_reg = w_zel - y_c;
  if (e_reg < 0) e_reg = 0;
  u_reg = (e_reg * K_P) / 255;
  if (u_reg > 255) u_reg = 255;
  OCR0B = u_reg;
}

void Vypis(void){
  sprintf(Bladok, "%d,%d,%d\r\n", y_c, w_zel, u_reg);
  zob_text USB4(Bladok);
}

void Vypis(void){
  printf("%d,%d,%d\r\n", y_c, w_zel, u_reg);
}

while (1) {
  if (poc_time < 1000) {
    if (poc_time < 100) w_zel = 0; else w_zel = 800;
    if (poc_time < 600) w_zel = 600;
    if (poc_time == 100) { // 1. sekunda 100*10ms
      clear_bit(DDRD, pinB); // input, "odstranim skrat"
    }
    if (flag_Tv) { flag_Tv = 0;
      P_reg();
      Vypis();
    }
  }
}

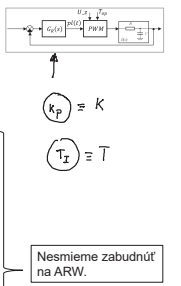
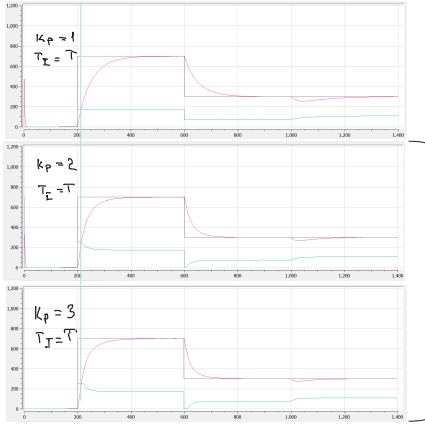
```



$$R_{reg}(s) = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_I s} \right)$$

$$T_v = 10 \mu s$$

$$T_v \ll T$$

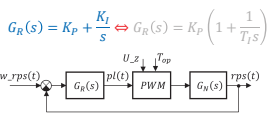
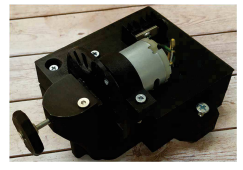


Regulácia otáčok je tiež sústava 1. rádu:

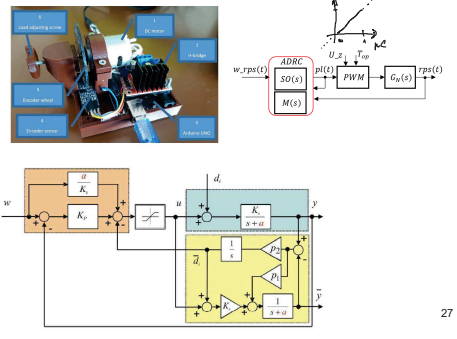
$$G_N(s) = \frac{K}{T_S + 1} e^{-sD} \quad (rps)$$

Našiel som dve podobné riešené úlohy.

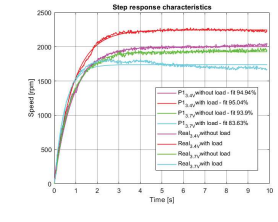
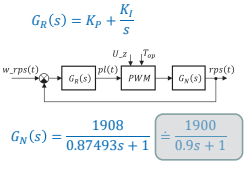
1. Riešenie – PI (PS) regulátor.



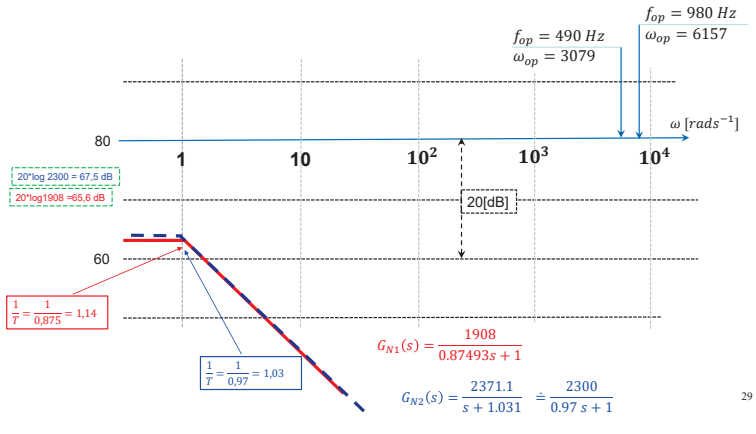
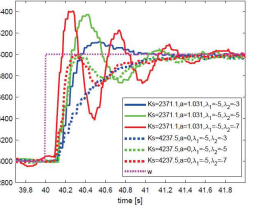
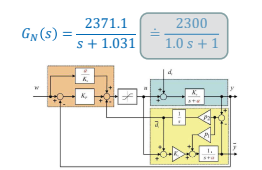
2. Riešenie – ADRC regulátor.



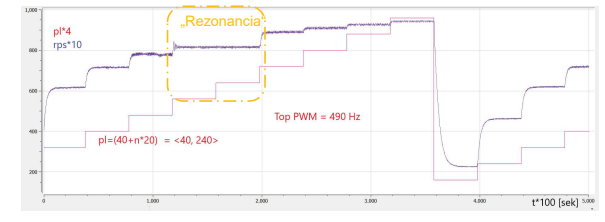
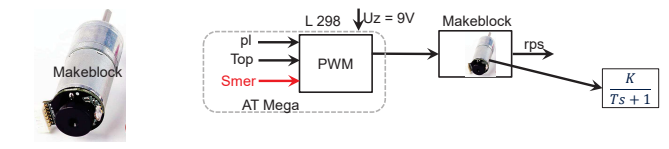
1. Riešenie – PI (PS) regulátor.

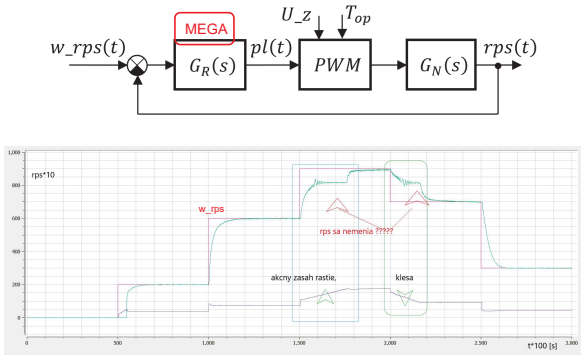


2. Riešenie – ADRC regulátor.



Našiel som motor (niekoľko) s podobnými vlastnosťami.





### ADRC (teória):

Požadovaná dynamika:  
 $M(s) = f(\lambda s) = \frac{1}{\lambda s + 1}; \lambda = 0,2 \text{ sek}$

