

## Převod přechodové charakteristiky na kmitočtovou a naopak (TI 58/59)

Jiří Ježek

Je-li přechodová charakteristika soustavy  $y = f(t)$  dána body  $[t_1; f_1], [t_2; f_2], \dots, [t_n; f_n]$ , můžeme programem A-1 určit k danému úhlovému kmitočtu  $\omega$  hodnotu

$$F(i\omega) = \text{Re} [F(i\omega)] + i \cdot \text{Im} [F(i\omega)].$$

Pro TI-58 je maximální počet daných bodů  $n = 19$  (v upraveném programu je  $n = 24$ ), pro TI-59 je maximální  $n = 49$ .

Práci s programem udává přehledně tabulka 1.

**Poznámka:**

Pro zvýšení počtu datových registrů používá program vnitřních registrů číslo 4, 5 a 6. Instrukce Hir 35 a Hir 34 ve významu SUM 5 a SUM 4 však zkreslují při pevně nastavené desetinné čárce čísla menší než 1 (číslo řádu  $-n$  se převede na číslo řádu  $+n$ ). Proto musí být přístroj při výpočtu nastaven do režimu Eng.

Použitý algoritmus předpokládá, že  $f(0) = 0$  (vkládáme tedy vždy  $t_1 = 0$  a  $f_1 = 0$ ) a že pro  $t_n$  je přechodová charakteristika dostatečně ustálená.

Tab. 1.

krok	použití	vstupní hodnota	tlačítko	displej
1	Start	-	A'	0
2	Vložení daných hodnot.	$t_1$ $f_1$ $t_2$ $f_2$ ...	x↔t R/S x↔t R/S ...	0 0 ...
	$n_{\max} = 19$ pro TI-58 $n_{\max} = 49$ pro TI-59	$t$ $f_n$	x↔t R/S	0
3	Výpočet $F(i\omega)$	$\omega$	A x↔t	Re $[F(i\omega)]$ Im $[F(i\omega)]$
4	3. krok opakuj pro jiné $\omega$	$t$		

**Obsazení registrů:**

**R0** ... k/2-2 řízení smyčky, **R1** ... k index posledního registru, **R2** ... j nepřímé adresy, **R3** ...  $t_1$ , **R4** ...  $f_2 - f_1$ , **R5** ...  $f_2$ , **R6** ...  $f_3 - f_2$ , atd.  
**H4** ... Re  $[F(i\omega)]$ , **H5** ... Im  $[F(i\omega)]$ , **H6** ...

**Stručné odvození výpočtu:**

$$\begin{aligned}
 F(p) &= \int_0^{\infty} p \cdot f(t) \cdot e^{-pt} dt = \sum_{r=1}^{n-1} \int_{t_r}^{t_{r+1}} p \cdot f(t) \cdot e^{-pt} dt = \\
 &= \sum_{r=1}^{n-1} \left[ f_r \cdot e^{-pt_r} - f_{r+1} \cdot e^{-pt_{r+1}} + \int_{t_r}^{t_{r+1}} f'(t) \cdot e^{-pt} dt \right] = \\
 &= \sum_{r=1}^{n-1} \frac{2 \cdot (f_{r+1} - f_r)}{(t_{r+1} - t_r) \omega} \cdot \sin \frac{(t_{r+1} - t_r) \omega}{2} \cdot \\
 &\quad \left[ \cos \frac{(t_{r+1} + t_r) \omega}{2} - i \cdot \sin \frac{(t_{r+1} + t_r) \omega}{2} \right].
 \end{aligned}$$

**Kontrolní výpočet:**

Fix 3 A' 0 x⇐t 0 R/S  
 1 x⇐t .3 R/S  
 3 x⇐t .4 R/S  
 1 A na displeji 0,217  
 x⇐t na displeji -0,214

Příklad:  
 Dané hodnoty:

n	t	f(t)
1	0	0
2	4	0,029
3	6	0,060
4	8	0,098
5	10	0,139
6	12	0,184
7	13	0,207
8	14	0,229
9	15	0,252
10	16	0,275
11	17	0,298
12	18	0,321
13	20	0,365
14	22	0,408
15	25	0,469
16	28	0,525
17	32	0,593
18	36	0,65+
19	40	0,704
20	48	0,787
21	58	0,860
22	66	0,900
23	80	0,945
24	120	0,990

Vypočítané hodnoty:

ω	Re [F(iω)]	Im [F(iω)]
0,01	0,915	-0,302
0,02	0,723	-0,518
0,03	0,494	-0,612
0,04	0,297	-0,610
0,05	0,154	-0,561
0,06	0,055	-0,502
0,07	-0,020	-0,440
0,08	-0,072	-0,370
0,09	-0,095	-0,301
0,1	-0,095	-0,249
0,15	-0,110	-0,110
0,2	-0,080	-0,058
0,3	-0,046	-0,011
0,5	-0,011	-0,005
1	0,006	-0,006
5	-0,001	-0,003

Je-li kmitočtová charakteristika soustavy  $F(\omega) = \text{Re}[F(i\omega)] + i \cdot \text{Im}[F(i\omega)]$  dána  $n$  body  $[\omega_1; \text{Re}_1], [\omega_2; \text{Re}_2], \dots, [\omega_n; \text{Re}_n]$ , můžeme programem A-2 určit k danému času  $t$  hodnotu přechodové funkce  $f(t)$  (symbolem  $\text{Re}$ , zde označujeme  $\text{Re}[F(i\omega)]$ ). Pro TI-58 je maximální počet datových bodů  $n = 19$ , pro TI-59 je  $n = 49$ . Práci s programem udává přehledně tabulka 2.

Tab. 2.

krok	použití	vstupní hodnota	tlačítko	displej
1	Start	-	B'	1
2	Vložení datových hodnot	$\omega_1$	x⇐t	2
		$\text{Re}_1$	R/S	
		$\omega_2$	x⇐t	3
		$\text{Re}_2$	R/S	
		$\dots$		
		$\omega_n$	x⇐t	n + 1
		$\text{Re}_n$	R/S	
3	Výpočet f(t)	t	B'	f(t)
4	3. krok opakuj pro jiné t			

**Obsazení registrů:**

R0 ... k/2-2 řízení smyčky, n, R1 ... j pro nepřímé adresování, R2 ...  $\omega_1$ , R3 ...  $\text{Re}_1/\omega_1$  nebo  $\text{re}_1$ , R4 ...  $\omega_2$ , R5 ...  $\text{Re}_2/\omega_2$ , atd. H5 ...  $\omega_{t+1} - \omega_t$ , H6 ... t, H7 ... k-index posledního registru, H8 ... f(t)  
 Stručně odvození výpočtu:

**Kontrolní výpočet:**

Fix 3 B' 0 x⇐t 1 R/S 0,01 x⇐t 0,96 R/S, 0,05 x⇐t 0,84 R/S 1 x⇐t 0,05 R/S B na displeji 1,388  
 B'.1 x⇐t .9 R/S x⇐t 0,8 R/S 5 x⇐t 0,6 R/S B na displeji 0,199

$$f(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\text{Re}[F(i\omega)]}{\omega} \sin \omega t \, d\omega \doteq \frac{2}{\pi}$$

$$\sum_{r=1}^{n-1} \int_r^{r+1} \frac{\text{Re}[F(i\omega)]}{\omega} \sin \omega t \, d\omega = \frac{2}{\pi} \sum_{r=1}^{n-1} \left( \frac{\text{Re}_{r+1}}{\omega_{r+1}} \sin \omega_{r+1} t + \frac{\text{Re}_r}{\omega_r} \sin \omega_r t \right) \frac{\omega_{r+1} - \omega_r}{2}$$

Pro  $\omega = 0$  je počítána  $\lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{\text{Re}(0)}{\omega} \sin \omega t = t \cdot \text{Re}(0)$ .

**Výpis programu:**

4 Op 17 pro TI 58, 10 Op 17 pro TI 59  
 Lbl A' Cms 1 STO 1 Clr R/S Op 21 - Exc

0 = STO ind 1 x⇐t Op 21 STO Ind 1 GTO 6  
 Lbl A Eng Hir 06 Rad Clr Hir 04 Hir 05  
 RCL 1 STO 2:2-2 = STO 0  
 RCL Ind 2 - Op 32 RCL Ind 2 x⇐t Op 32  
 RCL Ind 2 = x Hir 16:2 = : sin = 1/x x x ⇐t =  
 x⇐t RCL Ind 2 + 2 SUM 2 RCL Ind 2 =  
 :2 x Hir 16 = P → R +/- Hir 35 x⇐t Hir 34  
 Op 32 Op 32 Dsz 0 46 Hir 15 x⇐t Hir 14  
 INV Eng R/S celkem 111 kroků

Úprava programu pro TI-58 na zvýšení počtu registrů  $n_{\text{max}} = 24$ :

5 Op 17 Rad Eng  
 Lbl A' ... GTO 6

kroky 1 a 2 tabulky od adresy 000 vložíme zbývající část programu bez návěstí Lbl A a bez instrukcí Eng Rad INV Eng, skok po instrukci Dsz směřujeme na adresu 18  
 kroky 3 a 4 - program spouštíme tlačítky RST R/S

**Výpis programu:**

4 Op 17 pro TI 58, 10 Op 17 pro TI 59  
 Lbl E' RCL Ind 1 x Op 31 (RCL Ind 1 CP  
 x = t 30 x Iffig 0 20 +/- Hir 35 INV Stflg 0  
 Hir 16) sin INV SBR Hir 16) INV SBR  
 Lbl B' Cms 3 STO 01 1 STO 0 R/S STO 3  
 x⇐t STO 2 CP x⇐t 56 INV Prd 3  
 Op 20 RCL 0 R/S Op 21 : x⇐t STO Ind 1  
 = Op 21 STO Ind 1 RCL 1 Hir 7 GTO 56 Lbl  
 B Eng Hir 6 Rad Clr Hir 8 Hir 17 STO  
 1:2-2 = STO 00  
 0 Hir 5 Stflg 0 E' + Op 31 E' = : 2 x Hir  
 15 = Hir 38 Op 21 Dsz 0 99  
 Hir 18 : π × 2 INV Eng R/S  
 celkem 134 kroky