

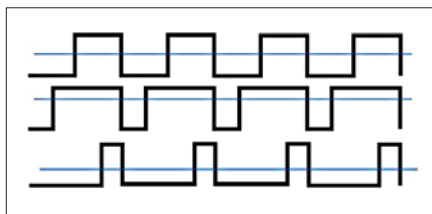
# Inspiromat pro výuku a Tecomat: co v učebnici automatizace nebylo

(část 3 – řízení tepelných soustav – od varné konvice k budovám, 2. díl)

(dokončení z minulého čísla)

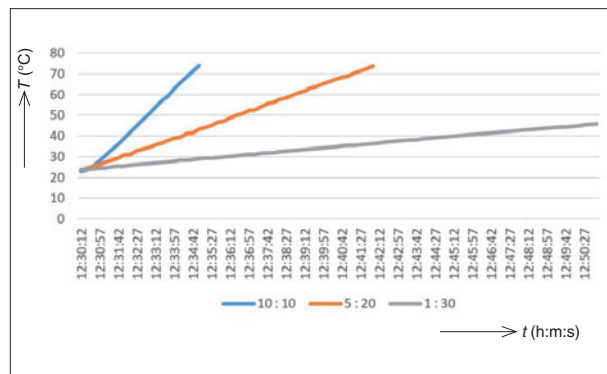
## Přerušovaný ohřev a pulzně šířková modulace PWM

Cílem dalších experimentů bylo dokumentovat vliv přerušovaného ohřevu na průběh nárůstu teploty vody a na schopnost „samoregulace“ – dosažení ustálené teploty. K řízení příkonu by bylo možné použít analogové pracující výkonový regulátor. Ten je ale drahý a od řídicího systému by vyžadoval analogový výstup. Pro laboratorní účely je zbytečný. V podobných situacích by mělo postačit

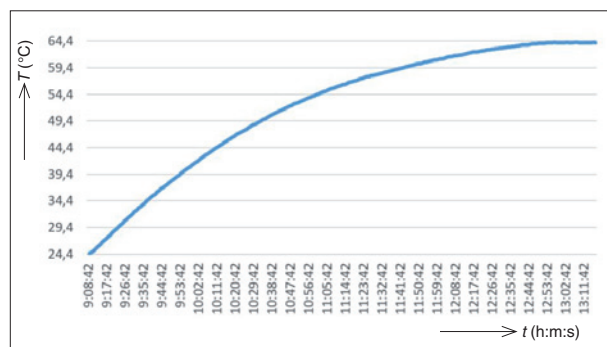


Obr. 5. Tři ukázky k ilustraci principu pulzně šířkové modulace PWM (Pulse Width Modulation) – výsledný výkon je určen střední hodnotou impulzního průběhu

periodické přerušování příkonu na principu pulzně šířkové modulace (PWM). Při ní je řídicí signál (akční veličina) sérií dvouhodnotových impulzů se stálou frekvencí, ale s proměnnou střídou (poměrem šířky impulzů pro zapnutí a mezer pro vypnutí). Ukáz-



Obr. 6. Průběhy teploty vody v konvici řízené PWM se střídou pulzů 1 : 30 (1 s impuls/30 s mezera – šedá křivka), 5 : 20 (oranžově) a 10 : 10 (modře)



Obr. 7. Dlouhodobý průběh (téměř 4 h) teploty vody v konvici řízené PWM se střídou pulzů 0,5 : 30 – při takto malém příkonu se již dosáhne rovnováhy mezi ohřevem a tepelnými ztrátami

ka je na obr. 5. Výslednou hodnotou je okamžitá střední hodnota průběhu. K jejímu získání se používá filtr typu dolní propusti. Obvykle ale postačuje setrvačná dynamika řízené soustavy. Frekvence impulzů má být dostatečně vysoká, aby se nespojitý charakter neprojevil na kvalitě řízení. Při řízení elektromotorů se používá poměrně vysoká frekvence, k řízení varné konvice vystačí frekvence podstatně nižší – a navíc hladký průběh zde není nezbytný.

Protože příkon konvice je 2 000 W a bylo třeba rozhodnout, jakou frekvenci a střidu zvolit, provedli jsme postupně několik pokusů a na základě vyhodnocení změřených průběhů jsme postupně zkracovali dobu sepnutí a prodlužovali dobu vypnutí. Při posledním měření jsme tak dosáhli periody 30,5 s. Pro první měření jsme nastavili doby pro spínání a vypínání

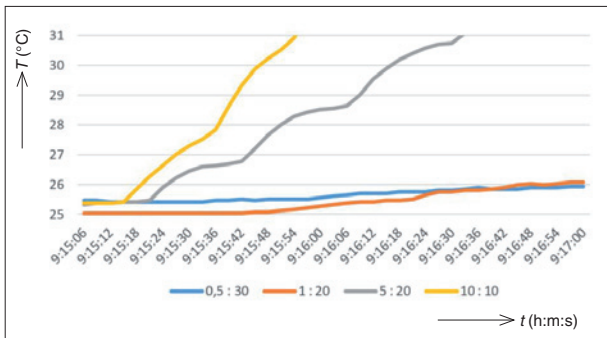
## O čem se v učebnicích nemluví

Učebnice regulační techniky se v převážné míře zabývají řízenými soustavami a regulátory, které lze označit přívlasky: lineární, s jedním vstupem (SISO – Single Input, Single Output), s konstantními parametry (časově invariantní) a bez dopravního zpoždění. Toto upřesnění se zde obvykle ani neuvádí, takže studující získává dojem, že jiné objekty snad ani neexistují nebo nejsou předmětem regulace (teorie ani praxe). Typickým příkladem takové „vzorové řízené soustavy“ je elektrický pohon. Jeho rychlost je možné spojitě měnit od zastavení k maximální hodnotě a zpět, podle potřeby lze směr pohybu reverzovat a řídit opačným směrem se stejnou dynamikou. Pro takové

soustavy je vybudována elegantní matematická teorie pro exaktní popis soustavy a jejího řízení (regulace) – volbu vhodného typu regulátoru a nastavení jeho parametrů tak, aby vykazoval požadované chování, přesnost a dynamiku procesu regulace.

Tradiční teorie regulace se navíc zabývá spojitě pracujícími (analogovými) regulátory a využívá matematický aparát Laplaceovy transformace. Analogové regulátory se ale v praxi používají výjimečně. Se současnou součástkovou základnou jsou převážně (téměř výhradně) realizovány číslicové pracující regulátory – na bázi mikroelektronických obvodů – mikroprocesorů, signálových procesorů, zákaznických obvodů, počítačů

(někdy běžných PC, častěji však průmyslových IPC, nebo jiných zabudovatelných mikropočítačů) a programovatelných automatů PLC, popř. jejich periferních modulů. Číslicové regulátory sice pracují s časovou nespojitostí (která je podstatou číslicového zpracování), ale v důsledku vysoké frekvence vzorkování se chovají téměř jako spojitě regulátory a pro jejich použití lze využít v podstatě stejný teoretický aparát jako pro analogové regulátory. Pro přesný popis chování číslicových systémů (nejen regulátorů, ale třeba i číslicových filtrů) je určen matematický aparát Z transformace. Pro potřebu výzkumu, vývoje a výuky jsou často používány matematické programové produkty,



Obr. 8. Počáteční úseky (do 2 min) průběhu teploty pro PWM se střídou 10 : 10 (žlutě), 2 : 20 (šedě), 1 : 20 (oranžově - s nižší počáteční teplotou) a 0,5 : 30 (modře)

ní 10 s a 10 s. Jednoduchý program v jazyce ST vypadá takto:

```
PROGRAM prgMain
VAR
raf :int;
mem :INT;
END_VAR

VAR_GLOBAL
sekundy AT %S16 : INT; //využití
systémového registru pro nastave-
ní časové prodlevy
END_VAR

CASE raf OF
0 : mem := sekundy + 10; //
nastavení prodlevy 10 s
ohrev_1 := 1; //zapni ohřev
raf := 1;

1 : IF mem = sekundy THEN
ohrev_1 := 0; //vypni ohřev
mem := sekundy + 10; //nastavení
prodlevy 10 s
raf := 2;
END_IF;

2 : IF mem = sekundy THEN
raf := 0;
END_IF;

END_CASE;
END_PROGRAM
```

s kterými je možné snadno řešit i simulace soustav různých typů a jejich řízení. Je to úžasný nástroj, který urychluje a usnadňuje práci. V simulačním prostředí lze jednoduše a názorně vytvářet modely, řešit na nich simulační experimenty a názorně graficky prezentovat výsledky. To je výhodné nejenom pro výzkumnou práci, ale i pro výuku. Problémem však je skutečnost, že se nepracuje s reálnou skutečností, ale s virtuální realitou. Neodpovídá-li model skutečnosti, jde jen o „hračku“ (i když zajímavou a názornou) a získané výsledky jsou fikci.

Cílem této části seriálu je ukázat, že existují a v praxi jsou rozšířené řízené soustavy, které vybočují z kategorie „učebnicových soustav“. Jsou jimi především soustavy se dvěma vstupy, řízené jedním vstupem s jednopolaritní akční veličinou. Zdaleka to není jen ojedinělý případ varné konvice. Ta

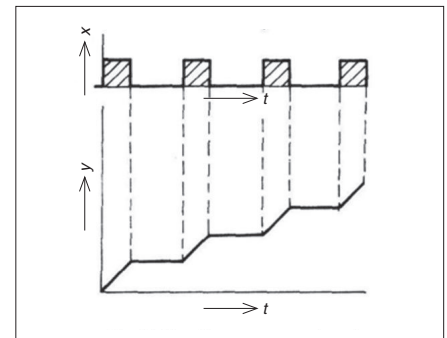
Při druhém pokusu jsme nastavili doby pro spínání a vypínání 5 s a 20 s. Při třetím na 1 s a 30 s. Protože stále rostla teplota, v posledním pokusu jsme doby nastavili na 0,5 s a 30 s. Zde jsme se konečně dočkali ustálení teploty na 64 °C. Doba tohoto posledního měření byla ale velmi dlouhá: měření trvalo celé 4 h. Na obr. 6 je grafické znázornění prvních tří pokusů. Teploty byly periodicky snímány

po 15 s. Průběhy názorně ukazují vliv PWM na ohřev vody. Při střídání zapnuto-vypnuto v poměru 10 : 10 teplota roste nejrychleji a již za 4 min dosahuje 75 °C. Při střídě 5 : 20 se této teploty dosáhne až za 12 min. Při střídě 1 : 30 je zřejmé, že nárůst teploty je ještě podstatně pomalejší. Na obr. 7 je průběh křivky s PWM regulací v poměru 0,5 s : 30 s.

Grafy na obr. 6 a obr. 7 ale neukazují chování soustavy v čase po zapnutí ani kolísání teploty během zapínání a vypínání napájení. Proto jsme ještě jednou proměřili ohřev vody, avšak tentokrát se snímáním a záznamem teploty po 3 s. Průběhy pro jednotlivá měření jsou uvedeny na obr. 8. Z křivek je jednoznačně vidět zpoždění, které vzniká vlivem ohřevu dna konvice. Toto zpoždění se prodlužuje s menším dodávaným příkonem.

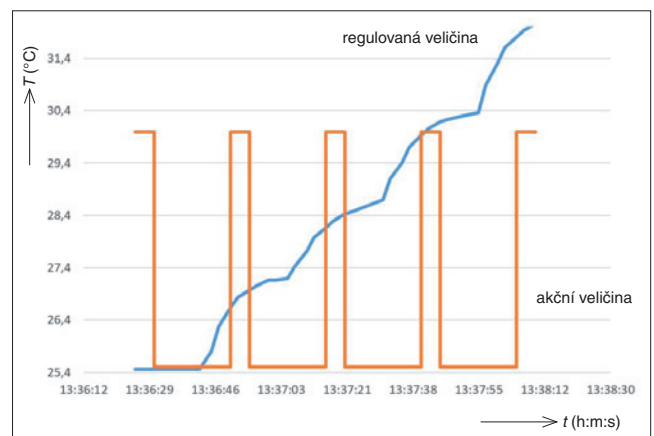
je použita jen jako názorný příklad, který zastupuje širokou třídu tepelných soustav – nejenom v technice budov, ale i v průmyslových procesech. Lze odhadnout, že takových soustav je v praxi většina. Obdobnou dynamiku vykazuje rovněž široká třída hydraulických soustav. Je možná překvapující, že podobnou dynamiku vykazují i některé mechanické nebo mechatronické soustavy, např. soustavy s nespojitým řízením. Jsou obdobou situace, kdy bychom rychlost automobilu řídili jen plynovým pedálem.

Nebylo cílem seriálu „znesvětit“ tradiční teorii regulace a její výuku – jen ukázat, že se v praxi vyskytují složitější typy soustav, k jejichž řízení je nutné použít jiné algoritmy regulace než regulátor PID. Jestliže absolvent vyzbrojený znalostí tradiční teorie použije pro vytápění v moderní budově tradiční regulátor PID a nastaví jej „podle svého nej-



Obr. 9. Teoreticky očekávaný průběh teploty vody v konvici řízené PWM při vyloučení tepelných ztrát

Dále se budeme věnovat křivce grafu 5 : 20 z obr. 8, která názorně ukazuje chování regulované veličiny. Při řízení pomocí



Obr. 10. Skutečný průběh teploty vody v konvici (modře) a řídicích impulsů PWM (oranžově) – je zde nápadný zpožděný náběh teploty oproti aktivaci topidla

PWM regulátoru by teoretický průběh regulované a akční veličiny měl vypadat podle průběhu na obr. 9. To je průběh pro bezkapacitní soustavu, kde při zapnutí akční veličiny regulovaná veličina roste a při vypnu-

lepšího vědomí a svědomí“, patrně se neseťká s úspěchem. Ať nastaví jeho parametry jakkoliv, výsledek nebude odpovídat jeho představám. Avšak zpětná vazba je natolik „mocná“, že soustavu „nějak ureguluje“, ale stejného nebo lepšího výsledku by asi dosáhl s intuitivním použitím termostatu.

Zvládnutí tradiční teorie regulace (skutečné „hlubinné“ pochopení) poskytuje teoretický nadhled a chápání souvislostí, které lze s výhodou uplatnit při hledání (a nacházení) intuitivního řešení. Je zřejmé, že hledání vhodného algoritmu regulace nebude snadné – předpokládá opuštění „vyšlapaných cestiček“. Pro začátek je třeba si problém alespoň uvědomit. Bezmyšlenkovité používání naučených rutinních postupů připomíná anekdotu, kdy hledáme jehlu pod lucernou, přestože jsme ji ztratili v temném koutě – ale pod lucernou je na to lépe vidět.

tí udržuje konstantní hodnotu. V praxi se s tímto průběhem s největší pravděpodobností nesetkáme. Buď bude soustava více-kapacitní, nebo budou na soustavu působit různé poruchy, jako např. chlazení, při kterém by regulovaná veličina při vypnutí akční veličiny neudržovala konstantní hodnotu. Názorně je právě na grafu 5 : 20 z obr. 8 vidět vliv zpoždění a kapacity ohřívacího dna konvice.

Na obr. 10 je ještě jednou uveden průběh regulované veličiny 5 : 20, tentokrát v závislosti na akční veličině. Na začátku průběhu je patrný velký vliv zpoždění, kdy se voda začíná ohřívat až po 15 s. Z průběhu je také zřejmé, že při vypnutí ohřevu se skutečně zpomaluje růst teploty a že vše je silně ovlivněno kapacitou topného dna konvice.

## Úlohy

1. Obdobně k úlohám 1, 2, 3, 4 řešte problémy s využitím řízení příkonu konvice metodou PWM.
2. Navrhněte algoritmy, popř. program PLC, pro různé metody řízení konvice metodou PWM.
3. Navrhněte algoritmy, popř. program PLC, pro řízení konvice metodou PWM ve více stupních, popř. spojitě, obdobně jako u regulátoru typu P.

## Závěrem

Původním účelem měření ohřevu vody bylo ověřit, zda by bylo možné varnou konvici zařadit do výuky v laboratorních cvičeních pro sledování chování regulovaných soustav. Naším cílem bylo také proměřit charakteristiku ohře-

vu vody v konvici v závislosti na čase, a to při různém příkonu. Z provedených měření a rozborů vyplývá, že varná konvice je vhodná pro výuku metodiky měření teploty a pro úlohy, které nevyžadují dlouhé doby, např. dynamiku počáteční fáze ohřevu a začátku chladnutí, k ilustraci základního principu PWM. Naopak pro úlohy dlouhodobého charakteru, např. regulace s uvažováním opětného zapnutí nebo samovolné ustálení teploty při malých výkonech PWM, je konvice pro příliš dlouhé doby měření – řádově v hodinách, nevhodná. Pro tyto případy je nutné najít a konstrukčně vyřešit jiné, rychlejší modely.

*Ing. Ladislav Šmejkal, CSc., Teco, a. s.,  
a externí redaktor Automa, Ing. Josef Kovář  
a Ing. Zuzana Prokopová,  
učitelé automatizace na SPŠ Zlín*



## Tecomat Foxtrot

Platforma pro automatizaci a komunikaci strojů, procesů, budov a dopravy



www.tecomat.cz

IEC-61131 | IoT | Smart House | Smart City | Industry 4.0

www.tecoacademy.cz

# SAP – grant na digitální vzdělávání

Společnost SAP investuje přes 250 tisíc eur do iniciativy Meet and Code, která podporuje digitální vzdělávání mládeže ve 22 evropských zemích. Meet and Code je součástí projektu EU Code Week a má za cíl učít mladé lidi programovat. Neziskové organizace či školy mohou o grant pro své vzdělávací aktivity cílené na věkovou kategorii 8 až 24 let zažádat do 15. září, samotný EU Code Week proběhne od 6. do 21. října. Novinkou letošního ročníku jsou ceny za nejlepší projekty.

Za iniciativou Meet and Code stojí kromě společnosti SAP také nadace Haus des Stiftens a TechSoup Europe, síť 24 organizací působících ve 48 zemích a hájících zájmy občanské společnosti. Jejím cílem je dát mladým lidem příležitost dozvědět se více o digitálním světě, naučit je programovat a poskytnout jim možnost využít tyto znalosti při jejich uplatnění na pracovním trhu. Součástí EU Code Week budou hackatony, workshopy a další aktivity.

Zájemci z řad neziskových organizací či škol mohou o grant zažádat na [www.meet-and-code.org](http://www.meet-and-code.org). Grant mohou kromě České republiky a Slovenska rovněž získat projekty z těchto zemí: Británie, Bosna a Hercego-

vina, Bulharsko, Chorvatsko, Francie, Itálie, Irsko, Kazachstán, Maďarsko, Makedonie, Německo, Polsko, Rakousko, Rumunsko, Rusko, Srbsko, Slovinsko, Španělsko, Švýcarsko a Ukrajina.



Obr. 1. Workshop v SAP Labs Česká republika v rámci Meet and Code 2017

V roce 2017 proběhlo v rámci projektu šest stovek akcí ve 280 městech a zúčastnilo se téměř 30 000 mladých lidí. V brněnské vývojové laboratoři SAP Labs Česká republika se ve spolupráci s neziskovou organizací Czechitas konalo osm workshopů, z toho šest bylo určených speciálně pro mladé ženy

a dva pro děti, které měly možnost vyzkoušet si např. vizuální programovací jazyk Scratch. Dohromady se těchto workshopů zúčastnila zhruba stovka žen a 30 dětí.

„Vloni se do projektu zapojilo dvacet kolegů, kteří s nadšením učili programovat malé děti i mládež. Ukázali jim, že vytvořit vlastní aplikaci vůbec nemusí být složité. Otevíráme tak cestu k informační technice i těm, kteří by si na to jinak netroufli, což má pro ně i pro budoucí pracovní trh zásadní přínos,“ okomentoval Martin Janáček, ředitel SAP Labs Česká republika.

Letos navíc mohou přihlášené projekty nově získat cenu ve třech kategoriích: kick and code (projekty propojující IT s fotballem), inovace (projekty zaměřené na aktuální témata, jako jsou internet věcí, blockchain, umělá inteligence, 3D tisk atd.) a rovné příležitosti (projekty prosazující toleranci a společenskou diverzitu). V každé kategorii bude oceněno pět nejlepších vzdělávacích aktivit.

SAP se účastí na tomto projektu připojuje k dalším z mnoha iniciativ, jejichž cílem je zvýšení počítačové gramotnosti mladých a zvýšení konkurenceschopnosti mladé generace na budoucím pracovním trhu.

(RA)