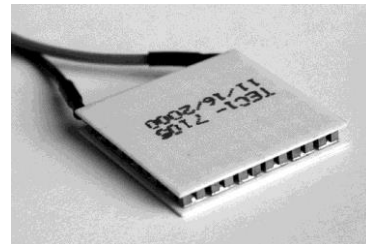


3.14 Regulacija temperature

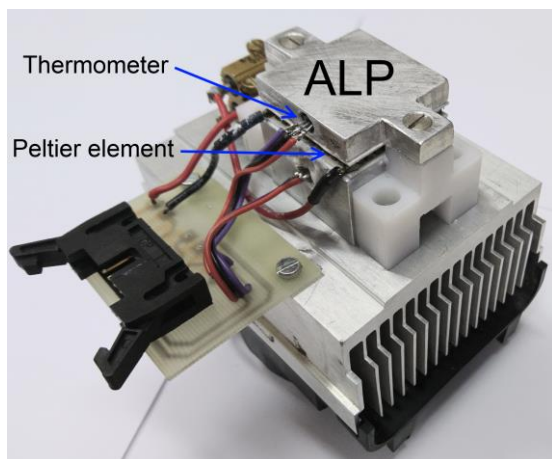
Nemalokrat je temperatura, pri kateri se izvaja eksperiment, zelo pomembna za njegov uspešen potek. Biti mora točna ne glede na vplive iz okolice ali pa se spreminjati po vnaprej določenem temperaturnem profilu. V takem primeru posežemo po temperaturni regulaciji: dejansko temperaturo eksperimenta ves čas merimo, izmerke sproti primerjamo z željeno vrednostjo temperature in po potrebi dodajamo ali odvajamo toploto eksperimentu. Poskusimo sestaviti tak regulator temperature. Denimo, da želimo regulirati temperaturo majhne ploščice iz aluminija.



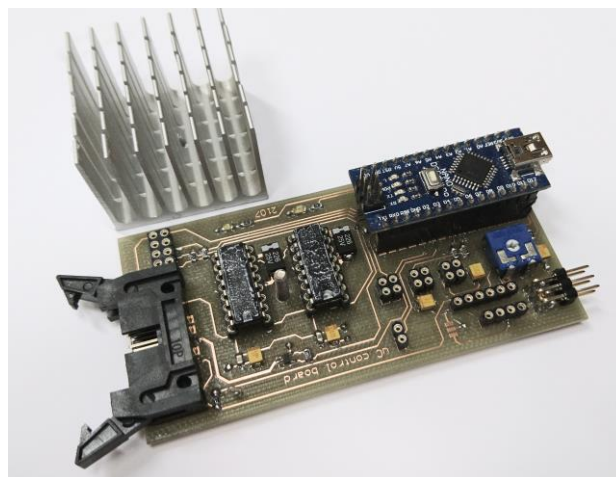
Slika 1: Peltier-ov element uporabimo za prečrpavanje toplote

Toploto dovajamo ali odvajamo iz eksperimenta s Peltier-ovim elementom, slika 1. Tak element sili toploto v prehajanje z ene ploskve elementa na drugo odvisno od smeri in jakosti električnega toka skozi element.

Peltier-ov element stisnemo med aluminijevo ploščico ALP in večje skladišče toplote, na primer velik kos aluminija (hladilnik rešen iz starega računalnika), slika 2. S tokom skozi Peltier-ov element črpamo toploto iz bloka aluminija v aluminijevo ploščico ALP ali v obratni smeri. Primerna elektronika poskrbi za pretvorbo krmilnega signala v tok skozi Peltier-ov element, slika 3.



Slika 2: Peltier-ov element uporabimo za prečrpavanje toplote



Slika 3: Elektronsko vezje za nadzor toka skozi Peltier-ov element

Temperaturo aluminijeve ploščice ALP merimo s polprevodniškim termometrom DS18B20 (»Thermometer«), ki je navezan na mikroprocesor s slike 3 zgoraj desno; rezultat meritve je dostopen preko vodila USB in posebej v ta namen spisanega programa na osebni računalniku. Na sliki 4 je zaslonska slika delujočega programa. V zgornjem desnem kotu (»Top temperature«) je izpisana izmerjena temperatura aluminijeve ploščice ALP, levo od nje pa je navedena temperatura bloka aluminija (»Base temperature«), ki jo meri drugi termometer. Gumb levo zgoraj (»Fan«) požene ventilator na spodnji strani bloka aluminija, gumb pod njim (»Enable PWM«) pa omogoči pošiljanje toka skozi Peltier-ov element. Izbrane izmerjene vrednosti se izrisujejo v diagram, če je stisnjena tipka »Running« levo nad diagramom.

Naloga: Priključi napajalno napetost +12 V za elektroniko ob Peltier-ovem elementu. Pazi na polariteto napajalnih priključkov: rdeča sponka je, kot običajno, pozitivni priključek, črna pa GND. Uporabi napajalnik, ki lahko da dovolj toka (okrog 2A) in ima vgrajen merilnik toka. Poveži elektroniko in osebni računalnik z USB kablom in poženi zgoraj omenjeni program. Preveri, da dobiš odčitke temperature aluminijeve ploščice ALP in da so ti odčitki odvisni od temperature ploščice; ploščico lahko pogreješ z roko.

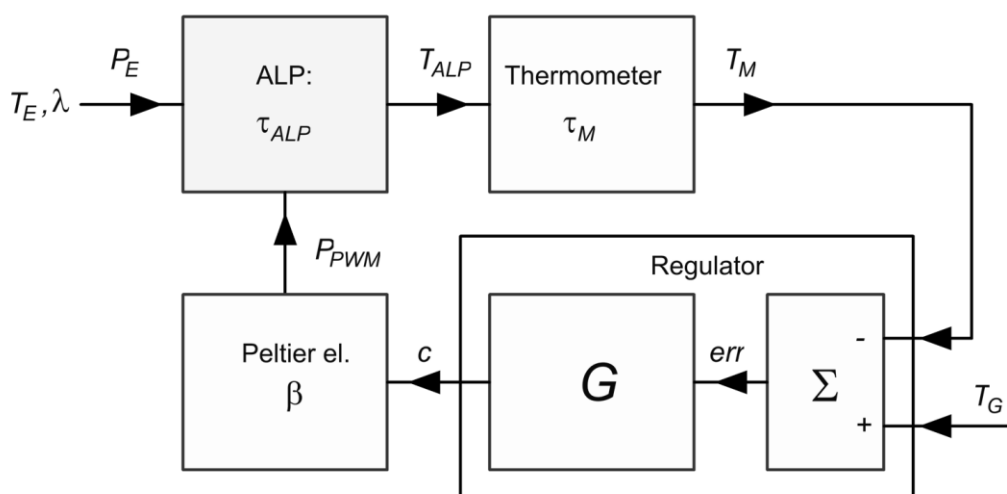


Slika 4: Zaslonska slika programa za nadzor temperature aluminijeve ploščice ALP

Tok skozi Peltier-ov element povzroči prečrpavanje toplote. S pomočjo zgoraj navedenega programa lahko ta tok ročno nastavljam od -100 % do 100 % (od -2 A do 2 A za uporabljeni Peltier-ov element). Nastavljanje opravimo z vpisom vrednosti v okence »PWM manual« in ga potrdimo s pritiskom na tipko »Enter«. Za ročno nastavljanje toka mora biti v meniju (»Mode«) izbrana opcija »Manual«, tipki »Fan« in »Enable PWM« pa mora biti stisnjeni.

Naloga: Postavi program v ročni način krmiljenja in z vpisovanjem vrednosti v okence »WPM manual« potrdi, da je mogoče greti ali hladiti aluminijevo ploščico ALP. Spremembe temperature opazuj v diagramu in jih potrdi s tipanjem ploščice ALP.

Kot v uvodu rečeno reguliramo temperaturo aluminijeve ploščice ALP tako, da merimo njeno temperaturo, vsak izmerek sproti primerjamo z željeno temperaturo in po potrebi dovajamo oziroma odvajamo toploto iz ploščice. Tako rvanje ponazorimo z bločno shemo na sliki 5. Temperaturo aluminijeve ploščice T_{ALP} meri termometer, ki da odčitek T_M . Ta odčitek odštejemo od željene temperature T_G in dobimo napako err . Po izbranem postopku G , ki upošteva vrednost napake err , dobimo krmilni signal c , z njim potem krmilimo aktuator, v našem primeru Peltier-ov element, ki z močjo P_{PWM} prečrpava toploto v ali iz aluminijeve ploščice



Slika 5: Bločna shema regulacijske zanke

ALP. Na temperaturo ploščice ALP vpliva še temperatura okolice T_E , ki v ploščico dovaja ali odvaja toploto z močjo P_E .

Ključni del regulacijske zanke je označen s pravokotnikom »Regulator« in je implementiran v programski opremi mikroprocesorja na ploščici s slike 3.

Poskusi regulacije temperature po različnih postopkih v bloku G

a) Enostaven vklop/izklop (ON - OFF)

Algoritem G: Če je izmerjena temperatura manjša od željene, dodajaj toploto dokler izmerjena temperatura ne doseže vrednosti željene temperature + histereza. Če je izmerjena temperatura večja od željene + histereza, odvezemaj toploto dokler temperatura ne pade na željeno vrednost.

Naloga: V meniju »Mode« izberi opcijo »On - Off«, v okence »Goal temperature« pa vpiši željeno temperaturo, ki naj bo za nekako deset stopinj stran od sobne temperature (dovoljene so temperature od 0°C do 40°C). V času nekaj minut zasleduj potek izmerjene temperature aluminijske ploščice ALP. Kaj opaziš? Kako na potek izmerjene temperature vpliva velikost histereze (vpisana je v okence »Hysteresis« spodaj desno). Poskusi enako še z željeno temperaturo, ki je na drugi strani sobne temperature.

Poskus pokaže, da izmerjena temperatura bolj ali manj opleta okoli željene vrednosti, ki pa je ne doseže zares.

b) Proporcionalna regulacija (P)

Algoritem G: Če je izmerjena temperatura nad željeno, odvezemaj toploto iz aluminijske ploščice. Če je izmerjena temperatura pod željeno temperaturo, dodajaj toploto v aluminijsko ploščico. Odvezemaj ali dodajaj sorazmerno z razliko med obema temperaturama, sorazmernostni faktor določa vrednost ojačenja »P gain«. Enota G na bločnem diagramu s slike 5 je v tem primeru samo ojačevalnik z ojačenjem »P gain«.

Naloga: V meniju »Mode« izberi opcijo »Regulation P«, v okence »Goal temperature« pa vpiši željeno temperaturo, ki naj bo spet nekako deset stopinj stran od sobne temperature. V okence »P gain« vpiši željeno ojačenje, dovoljene vrednosti so od 0 do 1000. V času nekaj minut zasleduj potek izmerjene temperature aluminijske ploščice ALP.

Kako na potek temperature med približevanjem željeni vrednosti vpliva velikost faktorja »P gain«? Kako blizu je izmerjena temperatura željeni vrednosti takrat, ko je približevanja konec? Kaj se dogaja z izmerjeno temperaturo takrat, ko je približevanje končano?

Poskus pokaže, da se izmerjena temperatura za majhna ojačenja asimptotično nikoli ne izenači z željeno, preveliko ojačenje pa poleg tega povzroči še opletanje izmerjene temperature okoli željene.

c) Proporcionalno diferencialna regulacija (PD)

Algoritem G: Če je izmerjena temperatura nad željeno, odvezemaj toploto iz aluminijske ploščice. Če je izmerjena temperatura pod željeno temperaturo, dodajaj toploto v aluminijsko ploščico. Odvezemaj ali dodajaj sorazmerno z razliko med obema temperaturama, če pa je izmerjena temperatura že blizu željene temperature, dodajaj oziroma odvezemaj manj tako, da bo približevanje temperatur počasnejše. Tak algoritem prepreči opletanje izmerjene temperature okoli željene vrednosti.

Tak algoritem dosežemo, če v enoti G uporabimo ojačevalnik in diferenciator, njuna izhodna signala pa seštejemo v signal c . Deleža signalov v skupnem izhodnem signalu c določata faktorja »P gain« in »D gain«.

Naloga: V meniju »Mode« izberi opcijo »Regulation PD«, v okence »Goal temperature« pa vpiši željeno temperaturo, ki naj bo spet nekako deset stopinj stran od sobne temperature. V okence »P gain« vpiši željeno ojačenje signala napake err , dovoljene vrednosti so od 0 do 1000. V okence

»D gain« vpiši željeno ojačenje odvoda napake *err*, dovoljene vrednosti so enake. V času nekaj minut zasleduj potek izmerjene temperature aluminijske ploščice ALP.

Kako na potek temperature med približevanjem željeni vrednosti vpliva velikost faktorja »P gain«? Kako na potek temperature med približevanjem željeni vrednosti vpliva velikost faktorja »D gain«? Kako blizu je izmerjena temperatura željeni vrednosti takrat, ko je približevanja konec? Kaj se dogaja z izmerjeno temperaturo takrat, ko je približevanje končano?

Poskus pokaže, da je zdaj mogoče uporabiti precej večje ojačenje za proporcionalni del regulatorja (»P gain«) in z diferencialnim delom regulatorja (»D gain«) odpraviti opletanja izmerjene temperature okoli željene vrednosti. A kljub povečanemu ojačenju in izničenju opletanja izmerjena temperatura po približevanju ni enaka željeni.

d) Proporcionalno integralna diferencialna regulacija (PID)

Algoritem G: Če je izmerjena temperatura nad željeno, odvezaj toploto iz aluminijske ploščice. Če je izmerjena temperatura pod željeno temperaturo, dodajaj toploto v aluminijsko ploščico. Odvezaj ali dodajaj sorazmerno z razliko med obema temperaturama, če pa je izmerjena temperatura že blizu željene temperature, dodajaj oziroma odvezaj manj tako, da bo približevanje temperatur počasnejše. Če je razlika med izmerjeno in željeno temperaturo majhna, to razliko integriraj in jo uporabi kot dodatek h krmilnemu signalu *c*; čeprav je napaka majhna, bo integral razlike sčasoma postajal večji in bo povečeval dodajanje / odzemanje toplote tako, da bo izmerjena temperatura po daljšem času natanko enaka željeni.

Tak algoritem dosežemo, če v enoti G uporabimo ojačevalnik, diferenciator in integrator, njune izhodne signale pa seštejemo v signal *c*. Delež signalov v skupnem izhodnem signalu *c* določajo faktorji »P gain«, »D gain« in »I gain«.

Naloga: V meniju »Mode« izberi opcijo »Regulation PID«, v okence »Goal temperature« pa vpiši željeno temperaturo, ki naj bo spet nekako deset stopinj stran od sobne temperature. V okence »P gain« vpiši željeno ojačenje signala napake *err*. V okence »D gain« vpiši željeno ojačenje odvoda napake *err*, v okence »I gain« pa željeno vrednost ojačenja integrala napake *err*. Dovoljene vrednosti za prvi dve okenci so od 0 do 1000, za zadnje okence pa od 0 do 5000. V času nekaj (morda petnajst?) minut zasleduj potek izmerjene temperature aluminijske ploščice ALP.

Kako na potek temperature med približevanjem željeni vrednosti vpliva velikost faktorja vseh treh faktorjev? Kako blizu je izmerjena temperatura željeni vrednosti takrat, ko je približevanja konec? Kaj se dogaja z izmerjeno temperaturo takrat, ko je približevanje končano?

Poskus pokaže, da je, kot v prejšnji točki, mogoče uporabiti precej večje ojačenje za proporcionalni del regulatorja (»P gain«) in z diferencialnim delom regulatorja (»D gain«) odpraviti opletanja izmerjene temperature okoli željene vrednosti. Dodani primerno velik integralni delež (»I gain«) odpravi še razlike med izmerjeno in željeno vrednostjo temperature po koncu približevanja, a je na to treba dolgo čakati. Okoliška temperatura se med poskusom ne sme spreminjati.