

## Dwustanowy regulator temperatury z korekcją mocy wyjściowej

### WSTĘP

W celu utrzymania w termostacie możliwie stałej wartości temperatury stosuje się różnorodne układy automatycznej regulacji temperatury. Ze względu na sposób działania termoregulatora, układy automatycznej regulacji temperatury można podzielić na układy o regulacji ciągłej oraz układy o regulacji nieciągłej - dwustanowej [1-4].

Regulacja dwustanowa temperatury znajduje szerokie zastosowanie w wielu różnorodnych gałęziach przemysłu i w wielu innych dziedzinach działalności człowieka jako jeden z prostszych sposobów automatycznej regulacji temperatury obiektów cieplnych [1-6].

Najczęściej spotykane obiekty cieplne, których temperatura podlega regulacji, mają charakter obiektów statycznych wysokiego rzędu, zwykle układów o parametrach rozłożonych, nieliniowych, przy czym wysoki rząd inercji powoduje ich silne własności uśredniające.

Cechą charakterystyczną regulacji dwustanowej temperatury jest to, że sygnał sterujący, za pośrednictwem którego regulator oddziałuje na wielkość regulowaną - temperaturę może przyjmować tylko dwa stany, zwane umownie 0 i 1.

Działanie układu zamkniętego regulacji dwustanowej można scharakteryzować tym, że w zależności od tego, czy temperatura obiektu jest niższa czy też wyższa od wartości żądanej, następuje automatycznie, odpowiednio załączenie /1/ lub wyłączenie /0/ mocy grzewczej. Regulator dwustanowy stanowi zatem element nieliniowy o charakterystyce przekaźnikowej a układ regulacji znajduje się zawsze w stanie drgań. Drgania te mają charakter ustalony i polegają na cyklicznym załączaniu i wyłączaniu mocy grzewczej, przy czym występuje określona częstotliwość łączeń, która jest ściśle związana z amplitudą zmian wielkości regulowanej.

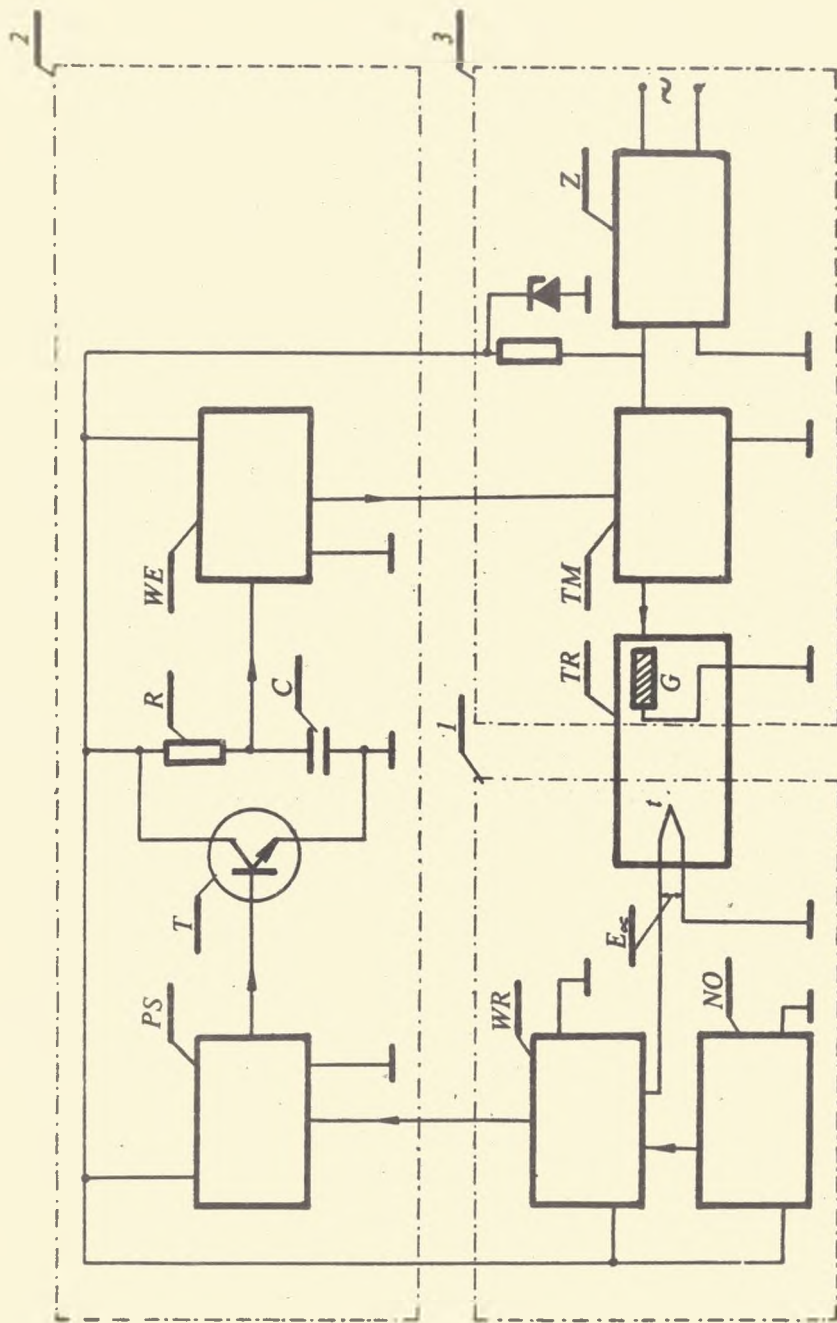
Wynika stąd, że w układach o regulacji dwustanowej, grzejnik zasilany jest zarówno w okresie dogrzewania, jak i po dogrzeniu mocą maksymalną. W okresie dogrzewania ma to miejsce w sposób ciągły, a po dogrzeniu w sposób impulsowy. Średni stosunek czasu grzania do czasu przerwy w stanie ustalonym decyduje o wartości średniej mocy grzewczej.

#### ZASADA DZIAŁANIA REGULATORA TEMPERATURY

W niniejszej pracy przedstawiono nowe rozwiązanie dwustanowego regulatora temperatury z zastosowaniem korekcji mocy wyjściowej.

Proponowane rozwiązanie dwustanowego regulatora temperatury z korekcją mocy wyjściowej zawiera następujące człony:

- człon pomiarowy 1 składa się z czujnika temperatury termopary  $t$ , wzmacniacza różnicowego WR, układu sterowanego napięcia odniesienia ON;
- człon sterujący 2 składający się z przerzutnika Schmitta PS, tranzystora T, układu RC, wtórnika emiterowego WE.
- człon wykonawczy składa się z grzejnika, tranzystora mocy TM, układu zasilania Z.
- obiekt regulacji - termostat TR.



Rys. 1. Schemat blokowy D dwustanowego regulatora temperatury z korekcją 1- człon pomiarowy składający się z: czujnika temperatury-termostaty t, wzmacniacza różnicowego WR, układu sterowanego napięciem odniesienia NO, 2- człon sterujący składający się z: przerzutnika Schmitta PS, tranzystora T, układu RC, wtórnika emiterowego WE, 3- człon wykonawczy składający się z: grzejnika G, tranzystora mesy TM, układu zasilania Z, termostat TR

Zasada działania proponowanego rozwiązania regulatora-stabilizatora temperatury jest następująca [7]. Siła termoelektryczna termopary  $E_{\alpha}$  jest porównywana poprzez wzmacniacz różnicowy WR z napięciem dostarczanym z układu programowanego napięcia odniesienia NO. Jeśli siła termoelektryczna termopary jest mniejsza od napięcia z układu programowanego napięcia odniesienia NO, to pojawiające się napięcie niezrównoważenia wzmacniacza różnicowego WR powoduje, że poziom wyjścia przerzutnika Schmitta PS pozostaje niski.

Niskie napięcie wyjścia przerzutnika Schmitta blokuje tranzystor T. Rozpoczyna się proces wzrostu napięcia na kondensatorze C. Napięcie  $U_c$  jest przez wtórnik emiterowy WE podawane na bazę tranzystora mocy TM, który jest włączony szeregowo z obciążeniem - grzałką termostatu G układu zasilania Z. Wzrost napięcia na kondensatorze C powoduje wzrost prądu bazy tranzystora mocy TM, a tym samym wzrost prądu w obciążeniu. Wzrost prądu w grzałce powoduje wzrost mocy dostarczanej do termostatu, a co się z tym wiąże - wzrost temperatury.

Gdy temperatura w termostacie osiągnie wartość nieco większą od temperatury żądanej /zadawanej układem NO/, pojawiające się przeciwnego znaku napięcie niezrównoważenia wzmacniacza różnicowego WR, spowoduje, że poziom wyjścia przerzutnika Schmitta PS zmieni się z niskiego napięcia na wysokie. Napięcie to spowoduje odblokowanie tranzystora T, a tym samym kondensator C zacznie się rozładowywać poprzez rezystancję R i rezystancję tranzystora. Spadek w czasie napięcia  $U_c$  będzie powodował blokowanie poprzez wtórnik emiterowy WE tranzystora mocy TM, a tym samym spadek prądu w obciążeniu. Spadek prądu w grzałce powoduje spadek mocy dostarczanej do termostatu, a co się z tym wiąże - spadek temperatury. Spadek temperatury spowoduje zmianę znaku napięcia niezrównoważenia wzmacniacza różnicowego, a tym samym zmianę poziomu napięcia na wyjściu

przerzutnika Schmitta PS, co, jak już opisano, spowoduje ponowny wzrost mocy dostarczonej do układu nagrzewczego.

### CHARAKTERYSTYKA DYNAMICZNA REGULATORA

W celu ilustracji zjawiska tętnienia temperatury w termostacie można wykorzystać analogie ciepłno-elektryczne przedstawione w pracy [4]. Jak wiadomo z teorii procesów przewodnictwa ciepła, termostat można w pewnym przybliżeniu opisać kondensatorem energii cieplnej o pojemności  $C_T$  otoczony izolatorem o oporności cieplnej  $R_T$  /analogiem elektrycznym tego układu jest równoległe połączenie pojemności i rezystancji/.

W regulatorach dwustanowych bez korekcji szybkość zmian temperatury przy stałej mocy układu zasilającego można obliczyć na podstawie równania:

$$C_T \frac{dT}{dt} + \frac{T - T_0}{R_T} = \frac{E_0^2}{R_0} \quad (1)$$

gdzie:

- $T$  - temperatura chwilowa termostatu,
- $T_0$  - temperatura otoczenia,
- $E_0$  - napięcie zasilające układ grzejny,
- $R_0$  - rezystancja grzejnika.

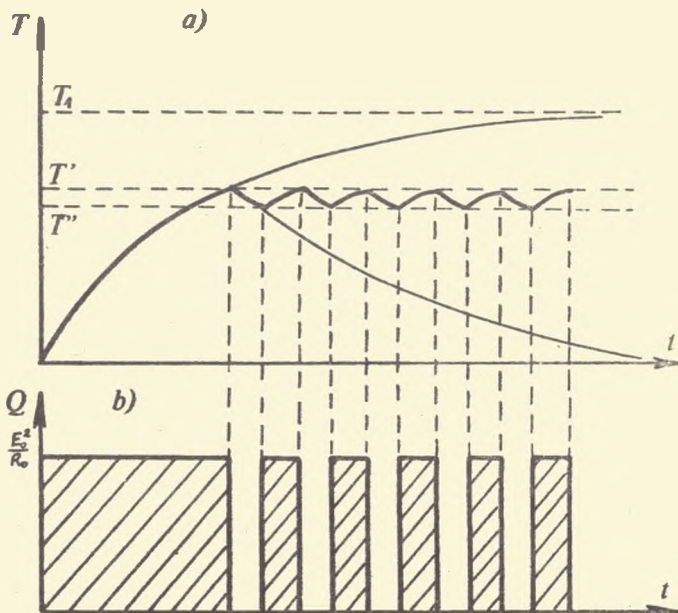
Rozwiązanie powyższego równania ma postać

$$T(t) = T_0 + (T_1 - T_0) / (1 - e^{-\frac{t}{R_T C_T}}) \quad (2)$$

gdzie:

$$T_1 = T_0 + \frac{E_0^2}{R_0} \cdot R_T \text{ byłoby temperaturą stanu ustalonego, gdyby przekaźnik nie wyłączył grzania.}$$

Zasadę działania regulatora dwustanowego bez korekcji ilustruje rysunek 2.

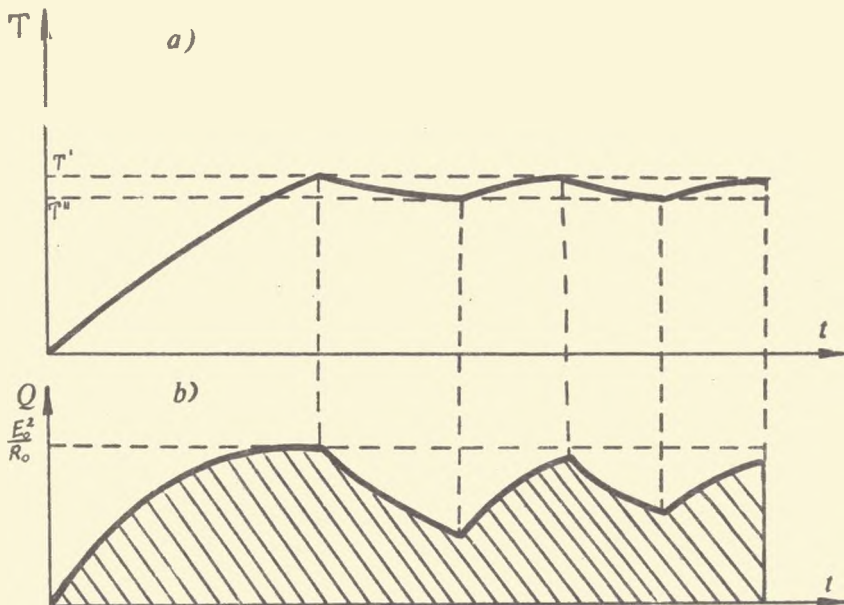


Rys.2,a- Przebieg nagrzewania i chłodzenia oraz przebieg tętnień temperatury w termostacie dwustanowego regulatora temperatury, b- Przebieg mocy grzewczej przy dogrzewaniu termostatu w dwustanowym regulatorze temperatury

W proponowanym rozwiązaniu regulatora dwustanowego z korekcją mocy wyjściowej, jak wynika z zasady działania, kondensator ciepła  $C_T$  ze stratami  $R_T$  "ładuje się napięciem" panującym na kondensatorze  $C$ . Równanie opisujące ten proces ma postać:

$$C_T \cdot \frac{dT}{dt} + \frac{T - T_0}{R_T} = \frac{E_2^2}{R_c} / 1 - e^{-\frac{t}{R_c C}} / \quad (3)$$

Lewa strona równania opisuje nam stan nieustalony w kondensatorze ciepła  $C_T$  ze stratami  $R_T$ , natomiast prawa strona równania opisuje zależność strumienia energii cieplnej dostarczonej do termostatu przy założeniu, że wtórnik emiterowy  $WE$  i tranzystor mocy  $TM$  są liniowymi wzmacniaczami napięcia panującego na kondensatorze  $C$ .



Rys. 3. a- Przebieg nagrzewania i chłodzenia oraz przebieg tętnień temperatury w termostacie dwustanowego regulatora temperatury z korekcją mocy wyjściowej. b- Przebieg mocy grzewczej przy dogrzewaniu termostatu w dwustanowym regulatorze temperatury z korelacją mocy wyjściowej

Ponieważ rozwiązanie analityczne równania jest bardzo złożone, na rysunku 3 przedstawiono graficzne "rozwiązanie" ilustrujące zasadę działania proponowanego rozwiązania dwustanowego regulatora temperatury z korekcją mocy wyjściowej.

#### WNIOSKI

Reasumując wyżej opisany dwustanowy regulator temperatury z korekcją mocy wyjściowej posiada następujące zalety:

- wykorzystuje najbardziej rozpowszechniony czujnik temperatury - termoparę, w związku z tym może być łatwo zastosowany do regulacji temperatury w urządzeniach laboratoryjnych, szczególnie w urządzeniach, których cieplna stała czasowa jest porównywalna ze stałą czasową układu RC;

- zastosowanie korekcji mocy wyjściowej pozwala na operowanie pojęciem wartości średniej sygnału sterującego, który w rzeczywistości jest sygnałem nieciągłym - piłokształtnym (rys.3), o niewielkiej amplitudzie. Stąd też można mówić o quasi-ciągłej regulacji dwustanowej z korekcją;

- umożliwia płynną regulację temperatury z dużą dokładnością, przy czym szybkość zmian temperatury realizuje układ napięcia odniesienia NO.

### BIBLIOGRAFIA

1. Fr ö h r F., O r t t e n b u r g e r F., Wprowadzenie do elektronicznej techniki regulacji. WNT. Warszawa 1977.
2. B a ń k a S., Pomiary, Automatyka, Kontrola. 7, 8 /1971/.
3. S k o c z o w s k i S., S t ę p i ń s k i T., Pomiary, Automatyka, Kontrola. 2 /1975/.
4. H a h n S., K u ń s k i R., Termostaty elektroniczne. WNT. Warszawa 1968.
5. B a ń k a S., S k o c z o w s k i S., Pomiary, Automatyka, Kontrola. 3 /1973/.
6. G ó r e c k i H., Analiza i synteza układów regulacji z opóźnieniem. WNT. Warszawa 1971.
7. W r ó b e l Z., Wniosek patentowy Uniwersytetu Śląskiego nr 204, 761.

Zygmunt Wróbel

### ON - OFF TEMPERATURE CONTROL BY THE CORECTION OF OUTPUT POWER

A concept of improving the transient process in an on-off temperature control unit. The power fed to the heating element is gradually increased or decreased in response



to a sawtooth waveform from a generator controlled by the signal indicating the temperature of the heating element and to a delayed signal produced by the power from the element. Main construction data of the prototype and its parameters are given.

Зигмунт Врубель, Влодзимеж Смига

### ДВУХПОЗИЦИОННЫЙ РЕГУЛЯТОР ТЕМПЕРАТУРЫ С КОРРЕЛЯЦИЕЙ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ

Оговорена проблема улучшения переходного процесса в двухпозиционном регуляторе температуры. Подача энергии к нагревательному элементу постепенно увеличивается или уменьшается в соответствии с изменением пилообразного выходного сигнала генератора, управляемого сигналом, соответствующим температуре нагревательного элемента. Поданы основные конструкционные данные исполненного прототипа, а также его параметры.