



# NA WARSZTACIE NA WARSZTACIE

## REGULATORY TEMPERATURY

Bardzo często zachodzi potrzeba utrzymania temperatury wewnątrz jakiegoś obiektu, np. akwarium lub pieca elektrycznego, na stałym, zadanym poziomie. Aby to osiągnąć, musimy sterować ilością energii cieplnej dostarczanej do obiektu. Cel ten osiągamy przeważnie przez regulację, która jest szczególnym przypadkiem procesu sterowania. Ilość dostarczanej energii możemy regulować ręcznie, ale pociąga to za sobą mniejszą dokładność uzyskanego efektu końcowego, jakim jest temperatura.

W procesie automatycznego sterowania występuje kilka etapów. W pierwszym rzędzie musi być wykonany pomiar stanu aktualnego (pomiar temperatury). Informacja o różnicy między stanem faktycznym a pożądanym doprowadzana jest do elementu wykonawczego (przełącznik lub tyrystory). Na rys. 1 pokazany jest schemat blokowy układu regulacji temperatury w układzie zamkniętym. Jest to układ z nietypową pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego, którą stanowi przepływ ciepła z elementu wykonawczego (grzałki) do masy obiektu (woda w akwarium) i dalej – do czujnika układu pomiarowego. W układzie występuje więc sprzężenie nieelektryczne. Zasadą regulacji stałowartościowej jest utrzymywanie temperatury obiektu na zadanym poziomie:

$$t_0 - \Delta \leq t \leq t_0 + \Delta$$

gdzie:

$t_0$  – temperatura zadana,

$t$  – temperatura obiektu,

$\Delta$  – szerokość strefy dopuszczalnych wahań.

Przy temperaturze  $t$ , niższej od  $t_0 - \Delta$ , włącza się grzałka, a przy wyższej od  $t_0 + \Delta$  – wyłącza. Obiekt ma pewną bezwładność termiczną i stąd powolne wahania temperatury. Różnica  $\Delta$  jest dokładnością procesu regulacji (rys. 2). Jeżeli stosunkowo prosty termoregulator wyposażymy w dwa układy

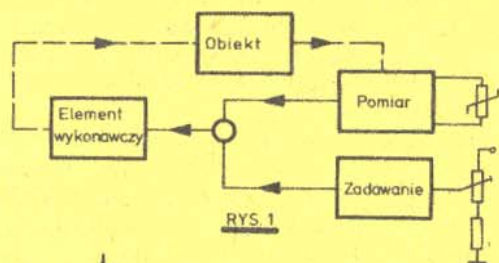
wzmacniające, to jego dokładność będzie lepsza od  $0,2^\circ\text{C}$ .

### Termoregulatory rezystancyjne

W urządzeniach tych wykorzystuje się zależność rezystancji różnych materiałów od temperatury, przy czym zakres regulacji zawiera się w granicach od  $-180^\circ\text{C}$  do  $+600^\circ\text{C}$ . W urządzeniach przemysłowych jako element rezystancyjny (czujnik) używany jest drut platynowy o średnicy około 0,06 mm. Tak wykonany termoelement ma nazwę Pt-100, co oznacza, że przy temperaturze otoczenia  $0^\circ\text{C}$  czujnik ma rezystancję równą 100  $\Omega$ . Ze wzrostem temperatury wzrasta rezystancja termoelementu. Czujnik ten poprawnie pracuje do temperatury  $+600^\circ\text{C}$ .

Przy temperaturze niższej od  $100^\circ\text{C}$  czujnik można wykonać z drutu miedzianego o średnicy około 0,05 mm, nawiniętego na porcelanowej lub szamotowej rurce.

Temperatury do  $200^\circ\text{C}$  można również regulować używając czujników półprzewodnikowych, wy-



RYS. 1



RYS. 2

konanych jako termistory. Termistory wyrabia się z materiałów, które przy ogrzaniu wykazują ujemny współczynnik temperaturowy rezystancji. Elementy te wykonywane są w postaci tabletek, płytek, ółków, które łatwo można umieścić w obiekcie wymagającym regulacji.

Przy budowie termoregulatora można też wykonać wpływ temperatury na złącze półprzewodników typu p-n, a więc można stosować diody i tranzystory jako czujniki temperatury.

Należy pamiętać, że przy zastosowaniu czujników drutowych, rezystancje gałęzi mostka zrównoważonego są rzędu setek omów, przy zastosowaniu termistorów są to kiloomy, a przy zastosowaniu diod i tranzystorów – gałęzie mostka powinny mieć rezystancje rzędu kilku megaomów.

### Termoregulator do akwarium

Schemat ideowy prostego termoregulatora przystosowanego do współpracy z grzałką podgrzewającą wodę w akwarium przedstawiony został na rys. 3.

Elementem pomiarowym jest tu termistor NTC o rezystancji około 4 k $\Omega$  w temperaturze 20°C. Potencjometr  $R_p$  służy do zerowania mostka przy uruchomieniu układu i przy wymianie termistora. Sygnał z mostka pomiarowego składającego się z oporników:  $R_1, R_1, R_2, R_3$  wchodzi przez rezystor  $R_4$  na wejście tzw. odwracające wzmacniacza  $W1$ , którym jest układ scalony typu ULY 7741.

Wzmocnienie napięciowe ( $k_u$ ) tego układu wynosi około 5, bowiem jest ono równe stosunkowi rezystancji  $R_5$  do  $R_4$ .

Po wzmocnieniu, sygnał wchodzi na wejście odwracające drugiego wzmacniacza ( $W2$ ), który pracuje jako sumator. Do wejścia nieodwracającego wzmacniacza ( $W2$ ) podłączony jest nastawnik  $R_z$ . Sygnał wejściowy sumatora steruje układem tranzystorów  $T1$  i  $T2$ . W obwód tranzystora  $T2$  włączone jest uzwojenie przełącznika  $P$ , który stykiem  $S$  włącza grzałkę. Dioda  $D1$  zabezpiecza tranzystory od przepięć występujących przy wyłączeniu przełącznika  $P$ .

Układ termoregulatora wymaga zasilania prądem stałym +12V i -12V względem masy. W związku z tym transformator sieciowy musi mieć dwa identyczne uzwojenia wtórne. Prostownik składa się z diod  $D4$ – $D7$ , za nim zaś włączony jest w obwód stabilizator napięcia (rezystory  $R_{11}$  i  $R_{12}$  oraz diody Zenera  $D2$  i  $D3$ ).

Regulator w układzie z termistorem typu NTC 110 ma zakres regulacji od 15°C do 35°C z dokładnością do  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

Termoregulator zmontujemy na drukowanej pły-

tce, którą zrobimy wg rys. 4. Rozmieszczenie poszczególnych części montażowych przedstawione zostało na rys. 5. Trzeba zwrócić uwagę, że płytką przystosowana została do użycia miniaturowych elementów, wielkość jej warunkuje w pierwszym rzędzie transformator sieciowy oraz przełącznik.

Po wlutowaniu wszystkich elementów układu należy przeprowadzić ważny zabieg – skalowanie termoregulatora. Pracę rozpoczniemy od umieszczenia termistora w zimnej wodzie, którą można ochłodzić do temperatury np. 10°C. przez dodanie do niej kostek lodu uzyskanych w domowej chłodziarni.

Wodę powoli ogrzewamy, nanosząc odpowiednie punkty na skalę nastawnika ( $R_z$ ) np. co 2°C, przez cały czas kontrolując temperaturę wody za pomocą laboratoryjnego termometru o dokładności 0,1°C.

Jeżeli w czasie skalowania termoregulatora okaże się, że jego zakres pomiarowy jest inny od założonego, to należy dobrać rezystory  $R_6$  i  $R_7$  włączone szeregowo z nastawnikiem temperatury. Zmiana rezystancji tych oporników praktycznie umożliwia dobranie zakresu regulacji do 100°C.

### Przełącznik termoregulatora

W układzie opisanego regulatora temperatury wody w akwarium pracuje przełącznik typu MT 6 lub R15 z cewką przystosowaną do zasilania prądem o napięciu 12 V. Jeżeli jednak będziemy mieli trudności z nabyciem takiego przełącznika, a będziemy mogli zakupić przełącznik o innych parametrach, to nic nie stoi na przeszkodzie, aby przystosować go do nowych warunków pracy.

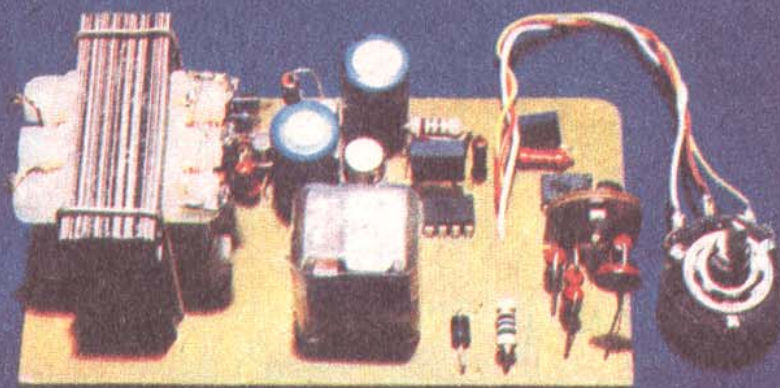
Przypuśćmy, że mamy do dyspozycji przełącznik typu RM2 z cewką przystosowaną do zasilania prądem o napięciu 24 V, przy czym cewka ma rezystancję 1050  $\Omega$ . Aby przełącznik ten mógł pracować przy zasilaniu 12 V, jego cewkę trzeba przewinąć tak, by moc ( $P$ ) nowego uzwojenia była taka sama jak moc pobierana przez cewkę przy zasilaniu napięciem 24 V, tzn. by liczba amperozwojów przy zasilaniu napięciem 12 V była taka sama, jak przy zasilaniu napięciem 24 V.

Najpierw trzeba określić powierzchnię ( $S_u$ ) przekroju uzwojenia mnożąc długość szpuli cewki przełącznika przez grubość warstw drutu (rys. 6).

$$S_u = a \cdot b$$

$$S_u = 0,65 \text{ cm}^2$$

Następnie musimy określić liczbę zwojów dotychczasowego uzwojenia. Ponieważ przełącznik nawiąty był drutem o średnicy 0,07 mm (wartość tę mierzymy mikromierzem), więc całe uzwojenie



Płytki montażowa termoregulatora do akwarium

ma około 6800 zwojów. Liczbę tę obliczamy mnożąc powierzchnię przekroju uzwojenia ( $0,65 \text{ cm}^2$ ) przez liczbę zwojów przypadającą na  $1 \text{ cm}^2$  uzwojenia nawiniętego takim drutem (patrz tablica 5 w „Młodym Techniku” nr 6 z 1980 r. na str. 68).

Mając liczbę zwojów cewki przekąźnika z łatwością obliczymy jej rezystancję, co będzie nam potrzebne do sprawdzenia dokładności wyliczenia liczby zwojów (porównania rezystancji rzeczywistej – podanej na cewce przekąźnika – z wyliczoną rezystancją).

Średnia średnica uzwojenia cewki ( $d_{sr}$ ) wynosi:

$$d_{sr} = \frac{d_1 + d_2}{2} = 1,25 \text{ cm}$$

Średnia długość ( $l$ ) pojedynczego zwoju cewki ma więc  $3,93 \text{ cm}$ , ponieważ:

$$l = d_{sr} \cdot \pi = 1,25 \cdot 3,14 = 3,93 \text{ cm}$$

Jeżeli średnia długość jednego zwoju cewki wynosi  $3,93 \text{ cm}$ , a cewka ma 6800 zwojów, to długość ( $L$ ) całego uzwojenia wynosi:

$$L = 6800 \cdot 0,039 \approx 265 \text{ m}$$

Rezystancja  $1 \text{ m}$  drutu miedzianego o średnicy  $0,07 \text{ mm}$  wynosi  $4,5 \Omega$ , a więc rezystancja całego uzwojenia ( $R$ ) powinna mieć:

$$R = 4,5 \cdot 265 \approx 1200 \Omega$$

Widzimy więc, że obliczona rezystancja jest większa o około  $150 \Omega$  od rezystancji podanej na cewce

przekąźnika. Wynika z tego, że uzwojenie cewki jest nieco krótsze niż obliczyliśmy, i wynosi:

$$L = 265 - \frac{150}{4,5} \approx 230 \text{ m}$$

a w związku z tym liczba zwojów ( $n$ ) jest równa:

$$n = \frac{230}{0,39} \approx 6000 \text{ zwojów}$$

Pamiętając, że liczba amperozwojów nowego i starego uzwojenia musi być równa, wyliczymy prąd ( $I_1$ ) płynący przez uzwojenie przy napięciu  $24 \text{ V}$  i prąd ( $I_2$ ) płynący przy napięciu  $12 \text{ V}$ .

$$I_1 = \frac{24}{1050} = 22 \text{ mA}$$

$$I_2 = 2 \cdot I_1 = 44 \text{ mA}$$

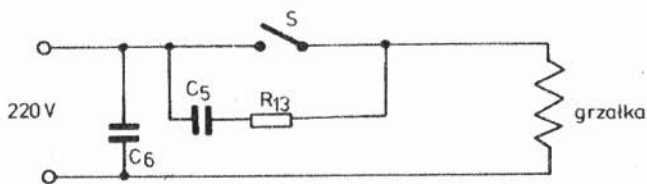
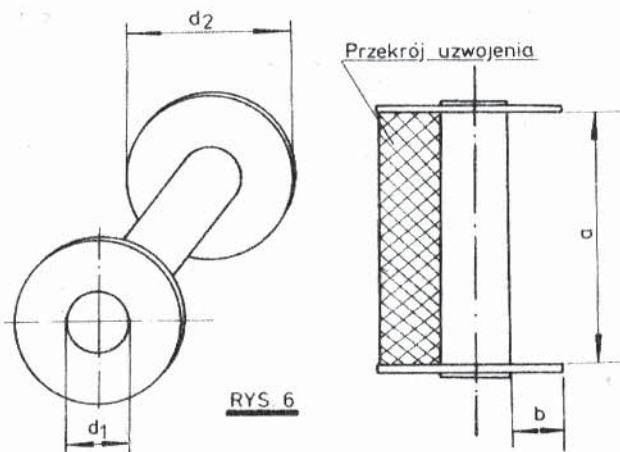
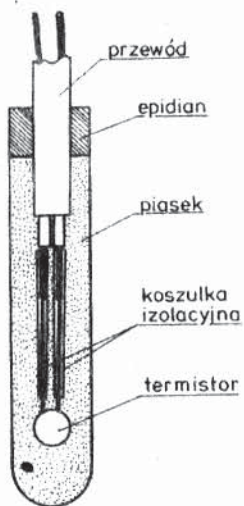
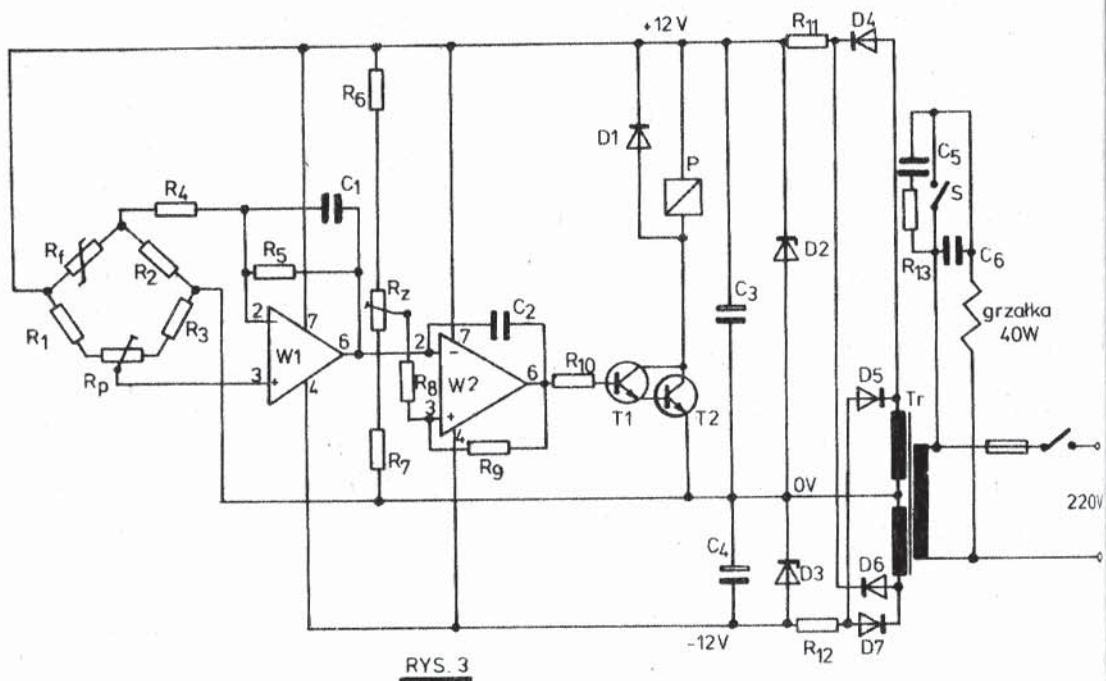
Liczba amperozwojów ma być równa, więc:

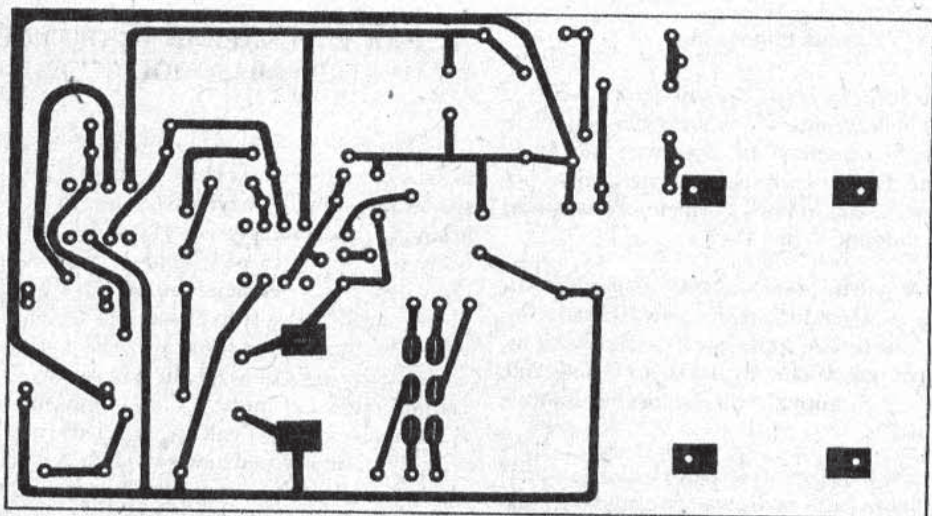
$$I_1 \cdot n_1 = I_2 \cdot n_2$$

A zatem przy napięciu  $12 \text{ V}$ , liczba zwojów ( $n_2$ ) wyniesie:

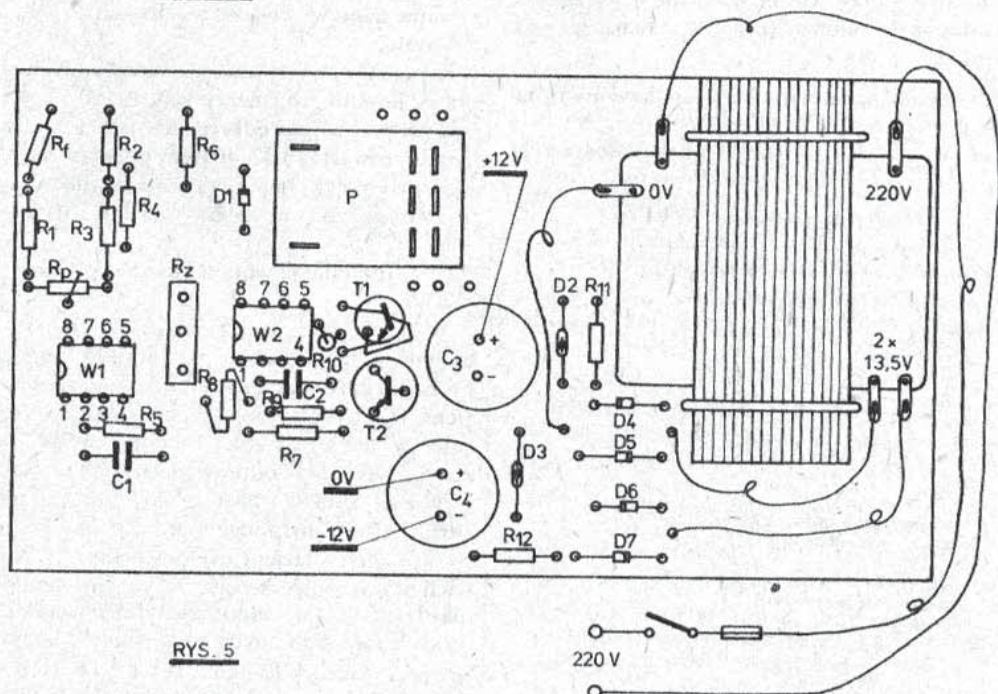
$$n_2 = \frac{I_1 \cdot n}{I_2} = \frac{132}{0,044} = 3000 \text{ zwojów}$$

Przekrój drutu nowego uzwojenia łatwo odnajdziemy w tablicy 5 (MT 6/1980) przy założeniu, że musi on być dwa razy większy od przekroju drutu dotychczasowego uzwojenia. Przekrój drutu o śred-





RYS. 4



RYS. 5

nicy 0,07 mm wynosi 0,0038 mm<sup>2</sup>, więc nowe uzwojenie powinno być nawinięte drutem o przekroju 0,0076 mm<sup>2</sup>, tzn. o średnicy 0,1 mm.

Na koniec sprawdzimy, czy nowe uzwojenie zmieści się na korpusie wiedząc, że na 1 cm<sup>2</sup> przekroju uzwojenia wypada 5700 zwojów drutu DNE Ø 0,1 mm:

$$5700 \cdot 0,65 = 3700 \text{ zwojów}$$

Uzwojenie mieści się więc na dotychczasowym korpusie cewki.

Opisaną metodą możemy przeliczyć każdy przełącznik przystosowując go do pracy przy innym napięciu zasilania.

Styki przełącznika należy zabezpieczyć układem RC (rys. 7) przed przepięciami. Układ ten służy jednocześnie zakłócenia radiowe powodowane przez zwieranie lub rozwieranie styków.

## Czujnik temperatury

Element reagujący na zmiany temperatury – termistor – należy umieścić w szczelnej obudowie tak, by do jej wnętrza nie dostawała się woda z akwarium. Do tego celu najodpowiedniejszą będzie cienkościenna probówka napełniona suchym, drobnym piaskiem.

Termistor powinien być umieszczony w piasku, nad którego powierzchnię powinny wystawać tylko końcówki lutownicze połączone z elastycznym, dwużyłowym przewodem izolowanym (koniecznie igelitem). Izolacja z opłotu bawełnianego absolutnie się tu nie nadaje.

Górną część probówki trzeba dokładnie zamknąć korkiem utworzonym przez warstwę epidianu włanego aż do górnej krawędzi szkła. Przewód elektryczny powinien przy tym przechodzić przez środek korka, nie zaś w pobliżu krawędzi stykającej się ze szkłem.

Sposób wykonania czujnika przedstawiony został na rys. 8.

**Inż. Antoni Białoszewski**

### Spis elementów

1. Termistor NTC 110 (4 k $\Omega$  w temperaturze 20°C)
2. Rezystory typu MLT o mocy 0,5 W:  
R<sub>1</sub> – 2,2 k $\Omega$   
R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> – 12 k $\Omega$   
R<sub>4</sub> – 18 k $\Omega$   
R<sub>5</sub>, R<sub>6</sub> – 100 k $\Omega$   
R<sub>7</sub>, R<sub>13</sub> – 56  $\Omega$   
R<sub>8</sub> – 75  $\Omega$   
R<sub>9</sub> – 220  $\Omega$   
R<sub>10</sub> – 10 k $\Omega$   
R<sub>11</sub> – 30  $\Omega$   
R<sub>12</sub> – 680  $\Omega$   
R<sub>14</sub> – potencjometr montażowy 5 k $\Omega$   
R<sub>15</sub> – potencjometr montażowy 350  $\Omega$ .
3. Kondensatory na dowolne napięcie:  
C<sub>1</sub> – 15 nF typu KCR (ceramiczny),  
C<sub>2</sub> – 0,1  $\mu$ F typu KCR,  
C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> – 470  $\mu$ F/16 V elektrolityczne,  
C<sub>5</sub>, C<sub>6</sub> – 0,1  $\mu$ F/400V, typu MKSE (styrorefleksowe).
4. Układy scalone:  
W1, W2 – ULY 7741.
5. Tranzystory:  
T1 – BC 107, BC 108, BC 109, BF 519,  
T2 – BC 211, BF 257, BD 137.
6. Diody:  
D1, D4–D7 – BYP 401–100,  
D2, D3 – BZP 611C12 lub BZP 630C12.
7. Transformator sieciowy z podwójnym uzwojeniem wtórnym dającym napięcie 2 $\times$ 13,5 V, lub nawinięty samodzielnie na rdzeniu o przekroju około 2,8 cm<sup>2</sup>. Uzwojenie pierwotne: 3600 zwojów drutu DNE  $\varnothing$  0,12 mm, uzwojenie wtórne – 2 $\times$ 216 zwojów drutu DNE  $\varnothing$  0,25 mm.