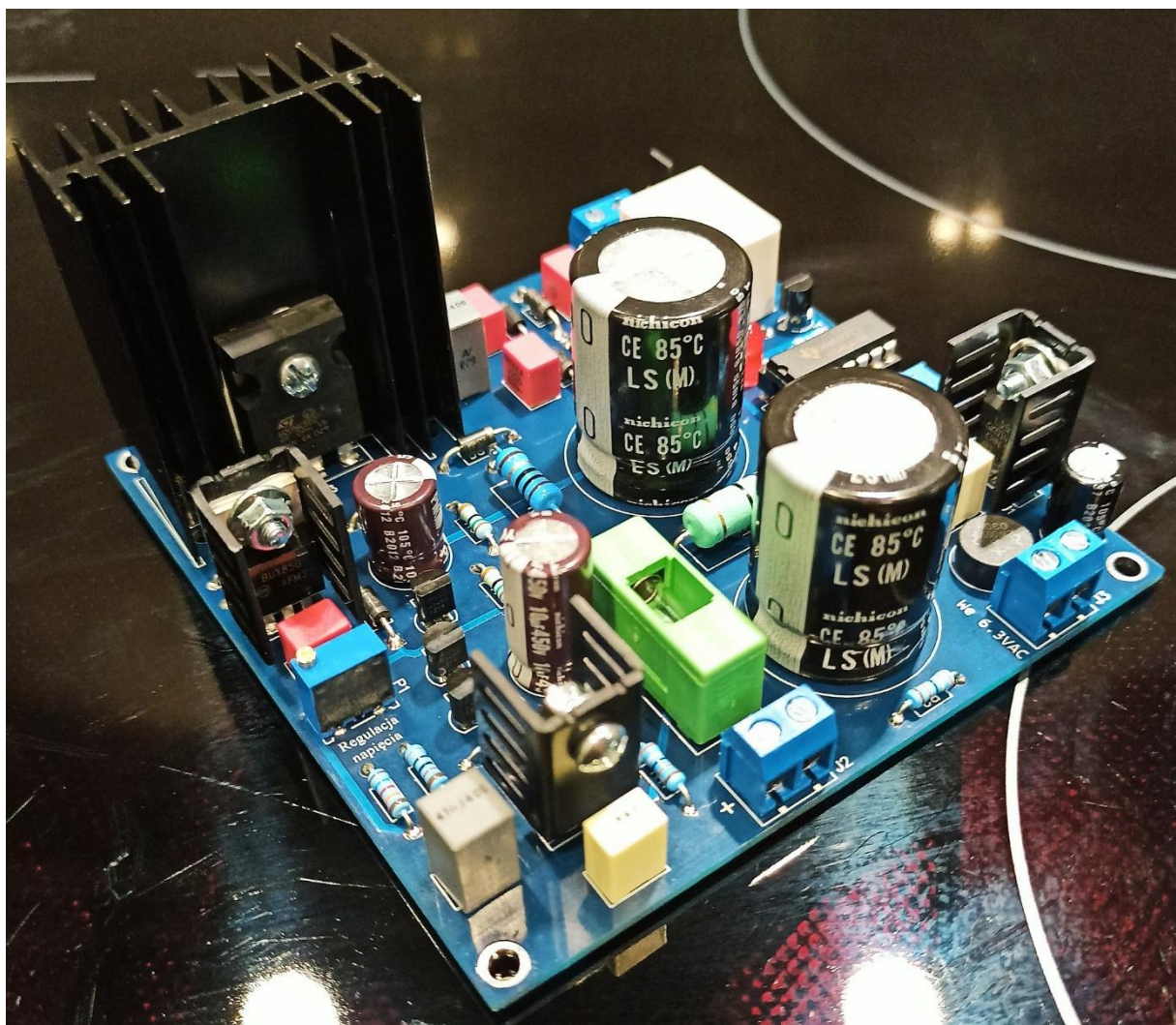


Regulowany zasilacz stabilizowany układów lampowych



SQ9GIW

Słowem wstępu...

Muzyki słucham odkąd pamiętam można powiedzieć, iż jestem początkującym melomanem przynajmniej od czterdziestu lat. Przez te wszystkie lata przewinęło się przez moje ręce wiele sprzętu audio. Były to urządzenia zarówno rodzimej produkcji takich firm jak Radmor, Unitra, Diora, Tonsil jak i wielu zagranicznych. Lecz nigdy nie miałem szczęścia być posiadaczem urządzenia lampowego. Pewnie ze względu na cenę tego typu fabrycznych konstrukcji.

Pewnego dnia urodził się pomysł aby może tak samemu stworzyć coś lampowego. I tak też się stało. Pierw były to bardzo proste konstrukcje. Można powiedzieć, że były to układy edukacyjne aż w końcu zbudowałem pierwszy prawdziwy wzmacniacz lampowy w układzie SE. Już wtedy zauważyłem, iż pływające napięcie zasilania mocno utrudnia uruchomienie i wręcz uniemożliwia wykonanie właściwych pomiarów w powtarzalnych warunkach pracy. Ta zła sytuacja w moim przypadku była dodatkowo spotęgowana niestabilnym napięciem sieci 230 V, które potrafi się u mnie wahać w granicach od 198 do 224 V. Co przekłada się na jeszcze większe wahania napięcia na uzwojeniu wtórnym transformatora zasilającego wzmacniacz. Taki stan rzeczy jest spowodowany w moim przypadku starą przeciężoną podstawą energetyczną. Następnie przyszedł czas na konstrukcje bardziej zaawansowane, lecz cały czas gnębił mnie wyżej wymieniony problem.

W pewnym momencie pomyślałem, iż rozwiązaniem będzie zbudowanie stabilizatora napięcia. O ile skonstruowanie dobrego liniowego stabilizatora niskiego napięcia nie stanowi większego problemu to już budowa takiego układu zdolnego dobrze stabilizować napięcia rzędu 200 – 500 VDC jest już nie lada wyzwaniem.

Pierwsza konstrukcja była bardzo prosta i oparta o jeden tranzystor unipolarny a za napięcie wyjściowe były odpowiedzialne szeregowo połączone diody Zenera. Niestety ze względu na bardzo duży dryf napięcia wyjściowego, szum, oraz bardzo słabą zdolność tłumienia tętnień pochodzących z sieci 230 V odrzuciłem całkowicie tego typu rozwiązanie. Następnie zbudowałem stabilizator parametryczny z wykorzystaniem układu LR8N3-G. Ten układ spełnił już w 80% moje oczekiwania i od ponad roku spisuje się doskonale zasilając jedną z moich konstrukcji – wzmacniacz PP na EL84. Pozostałe 20% to brak płynnej regulacji napięcia wyjściowego, brak kompensacji napięcia wyjściowego w stosunku do obciążenia, itp.

Opisany w dalszej części Regulowany Zasilacz Stabilizowany napięcia anodowego jest pozbawiony wszystkich ww. wad.

Ponadto korzystając z okazji chcę serdecznie podziękować kolegom: Romek D., Wiesław, Marek HBV, Kuba, Tomek J., Janek SP9GDI za udzielone wsparcie merytoryczne.

Jerzy via SQ9GIW

Opis układu.

Niniejszy Regulowany Zasilacz Stabilizowany jest przeznaczony do zasilania układów i urządzeń wymagających napięcia w zakresie od 110 V do 350 V. A w szczególności do zasilania wszelkiego rodzaju układów zbudowanych z wykorzystaniem lamp elektronowych.

Napięcie wyjściowe jest stabilizowane i doskonale odfiltrowane co przekłada się na absolutny brak przydźwięku oraz innych zakłóceń pochodzących z sieci 230 V w zestawach głośnikowych. Dzięki bardzo dokładnej stabilizacji napięcia lampy pracują cały czas w komfortowych warunkach odwdzięczając się wspaniałym dźwiękiem. Ponadto tak zrealizowane zasilanie ogromnie ułatwia uruchomienie oraz pomiary budowanego urządzenia lampowego. Aby zapobiec udarowi prądowemu bezpośrednio po włączeniu zasilacz realizuje funkcję miękkiego startu. Czas narastania napięcia na wyjściu zasilacza od 0 V do napięcia zadanego precyzyjnym potencjometrem wieloobrotowym wynosi około 1,5 - 2 sekund. Zasilacz posiada również zabezpieczenie przed krótkotrwałymi zwarciami, przeciążeniami, które mogą wystąpić np. podczas budowy i uruchamiania wzmacniacza lampowego. Ponadto mamy również dodatkowo na pokładzie układ opóźnionego załączania napięcia anodowego w stosunku do zasilania żarzenia, który możemy zasilć bezpośrednio z uzwojenia transformatora przeznaczonego dla żarzenia 6,3 VAC. W gotowym urządzeniu z zastosowanym ww. zasilaczem stabilizowanym lampy elektronowe pracują cały czas w komfortowych warunkach co również wpływa pozytywnie na ich czas życia.

Dane techniczne zasilacza:

Napięcie wejściowe: 100 – 300 VAC

Napięcie wyjściowe: 110 – 350 VDC

Prąd wyjściowy: 250 mA

Ciągła moc tracona na tranzystorze wykonawczym: do 10 W

Czas narastania napięcia 1,5 – 2 sekundy (miękki start)

Dane techniczne opóźnionego załączania:

Czas opóźnienia 2 – 120 sekund

Zasilanie 6,3 - 9 VAC lub 7 – 12 VDC

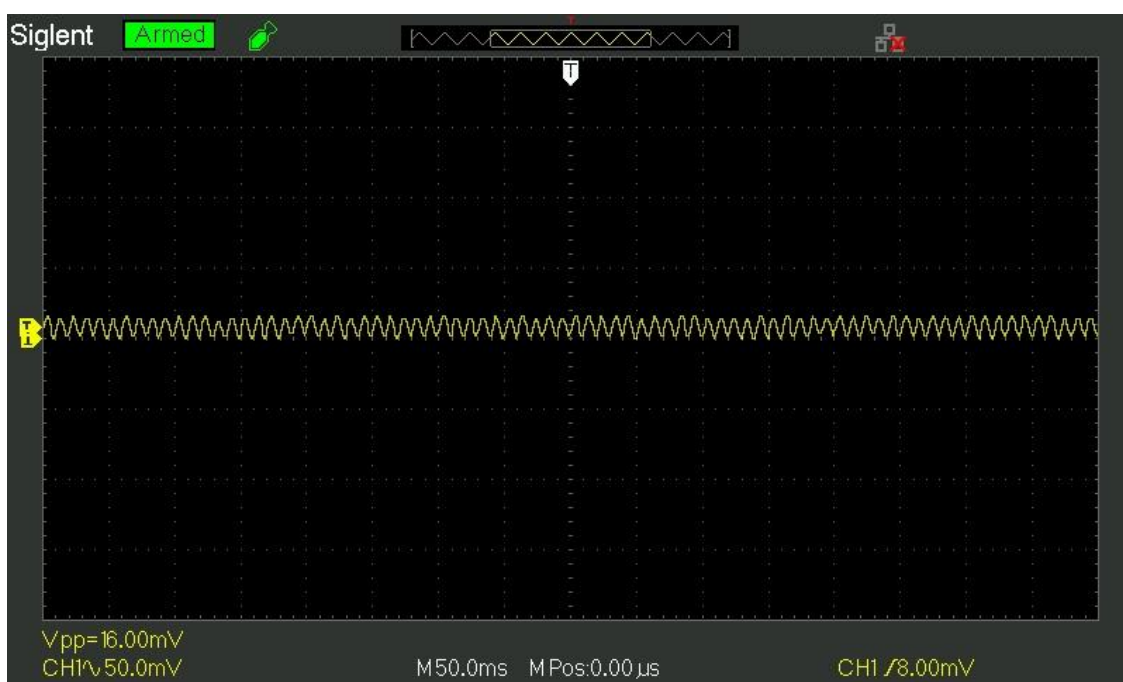
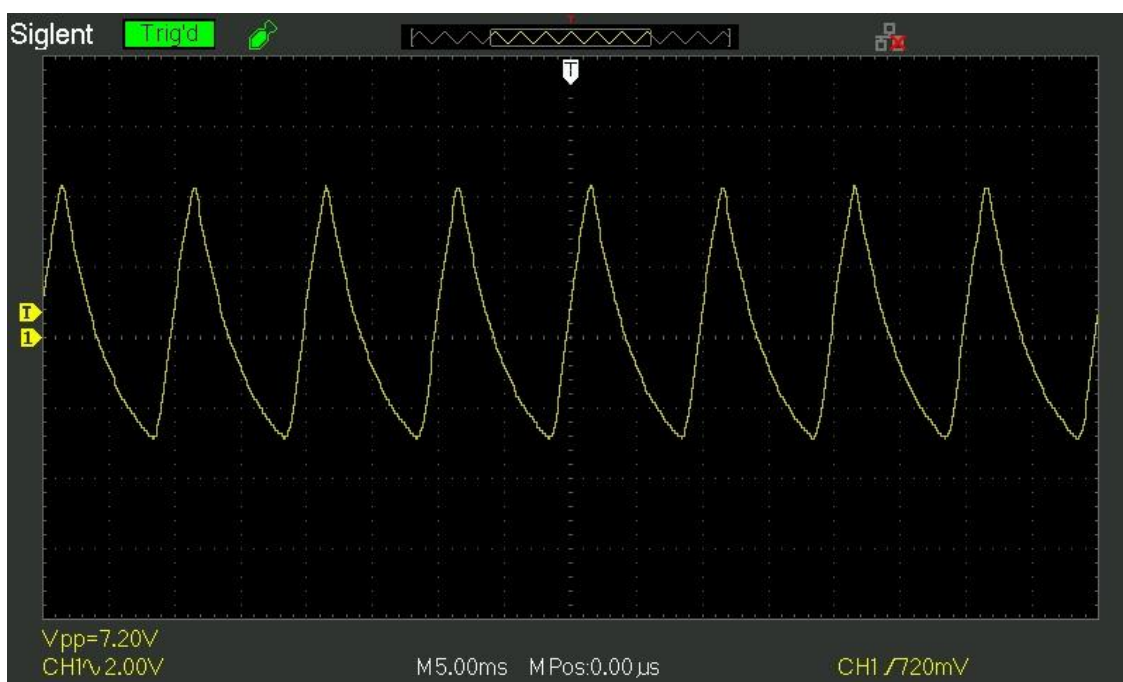
Pobór prądu 150 mA

W układzie występują wysokie napięcia zagrażające zdrowiu i życiu !!!

Podczas uruchomienia proszę zachować szczególną ostrożność !!!

Tłumienie tętnień – przydźwięku sieciowego.

Jak już wcześniej wspomniano układ charakteryzuje się doskonałym tłumieniem tętnień pochodzących z sieci zasilającej 230 V. Tradycyjny układ zawierający prostownik krzemowy oraz kondensator filtrujący ma bardzo małą zdolność wygładzania napięcia. Na pierwszym oscylogramie widać pracę takiego układu z pojemnością filtrującą równą $100\ \mu\text{F}$ obciążonego prądem o wartości 108 mA. Gdzie napięcie stałe na kondensatorze filtrującym wynosi 360 Vrms. Tętnienia wynoszą odpowiednio 7,2 Vpp. Drugi oscylogram przedstawia kształt napięcia z wyjścia naszego zasilacza przy zachowaniu dokładnie tych samych wartości wejściowych oraz obciążenia. Poziom tętnień wynosi 16 mVpp ($0,016\ \text{Vpp} > 0,006\ \text{Vrms}$). Więc z prostego rachunku wynika, iż nasz zasilacz radzi sobie z tętnieniami 450 razy skuteczniej !!! Zachowując dodatkowo pełną stabilizację napięcia wyjściowego.



Miękki start.

Aby nie dochodziło do uderzenia prądowego urządzenia zasilanego bezpośrednio po włączeniu układ realizuje również funkcję miękkiego startu. Czas narastania napięcia na wyjściu zasilacza od 0 V do napięcia zadanego precyzyjnym potencjometrem wieloobrotowym wynosi około 1,5 - 2 sekund.

Poniższe dwa oscylogramy prezentują start zasilacza. Docelowe napięcie wyjściowe zostało nastawione potencjometrem na wartość 250 V.



Opis układu zasilacza.

Podane na wejście J1 napięcie zmienne z uzwojenia wtórnego transformatora trafia poprzez zestyki przełącznika K1 na układ mostka prostowniczego zbudowanego z wykorzystaniem ultraszybkich diod prostowniczych D1-D4. Diody są dodatkowo zablokowane kondensatorami C1-C4 celem wy tłumienia możliwych zakłóceń powstających podczas prostowania napięcia przemiennego. Tak wyprostowane napięcie jest poddawane wstępnej filtracji w układzie filtra CRC zawierającego elementy C5, R1, C6. Rezystor R2 służy do rozładowania C5 i C6 po wyłączeniu zasilania. Zwora J4 służy do omijania zestyków przełącznika K1 czasowego układu opóźnionego załączania, który zostanie opisany w dalszej części. Jest to wygodna opcja podczas uruchamiania zasilacza stabilizowanego. Uwagi wymaga rezystor R1, ponieważ występuje na nim spadek napięcia uzależniony od wielkości prądu pobieranego z zasilacza, który obowiązkowo należy uwzględnić podczas wyboru transformatora. Odkładające się napięcie na R1 wyliczamy z Prawa Ohma. Tak wyprostowane i wstępnie odfiltrowane napięcie trafia na układ właściwego stabilizatora.

Elementy R3, R4, R5, T1 i T2 oraz C7 tworzą źródło prądowe o wydajności (uzależnionej od rezystora R5) około 1 mA. Obciążeniem źródła prądowego jest tranzystor T4 pełniący rolę wzmacniacza napięcia błędu, który porównuje napięcie na dzielniku złożonym z rezystorów R9, R10 i potencjometru P1 z napięciem odniesienia wytworzonym przez precyzyjne układy referencyjne D5, D6, D7 o sumarycznym wytworzonym napięciu odniesienia równym 30 V. Jeżeli napięcie na wyjściu zasilacza podawane przez dzielnik R9, R10, P1 na bazę tranzystora T4 jest zbyt niskie to tranzystor ten wyłącza się powodując wzrost napięcia na jego kolektorze i bramce tranzystora T3 pełniącego rolę wzmacniacza prądu (z ogranicznikiem), który to wzrost powoduje zwiększenie się napięcia wyjściowego zasilacza. Wzrost ten trwa do momentu uzyskania na wyjściu dzielnika (R9, R10, P1) napięcia równego napięciu odniesienia (30V) powiększonego o 0,6 V spadku napięcia baza-emiter tranzystora T4. Dalszy wzrost napięcia nie jest możliwy, ponieważ powodowałby większe wystereowanie tranzystora T4 powodujące z kolei spadek napięcia wyjściowego. Układ pozostaje więc w równowadze, a każda zmiana napięcia wyjściowego, będąca np. efektem wzrostu obciążenia zasilacza jest natychmiast korygowana przez tranzystor T4. Kondensator C10 zmniejsza szybkość działania stabilizatora jednocześnie obniżając poziom jego szumów wyjściowych. Kondensator C9 zmniejsza szумы i blokuje D5, D6, D7. Ponadto C9 ze względu na swoją znaczną pojemność (jak dla prądu 1 mA) zapobiega udarowi prądowemu zasilanego urządzenia poprzez "powolne" narastanie napięcia na wyjściu zasilacza podczas jego startu.

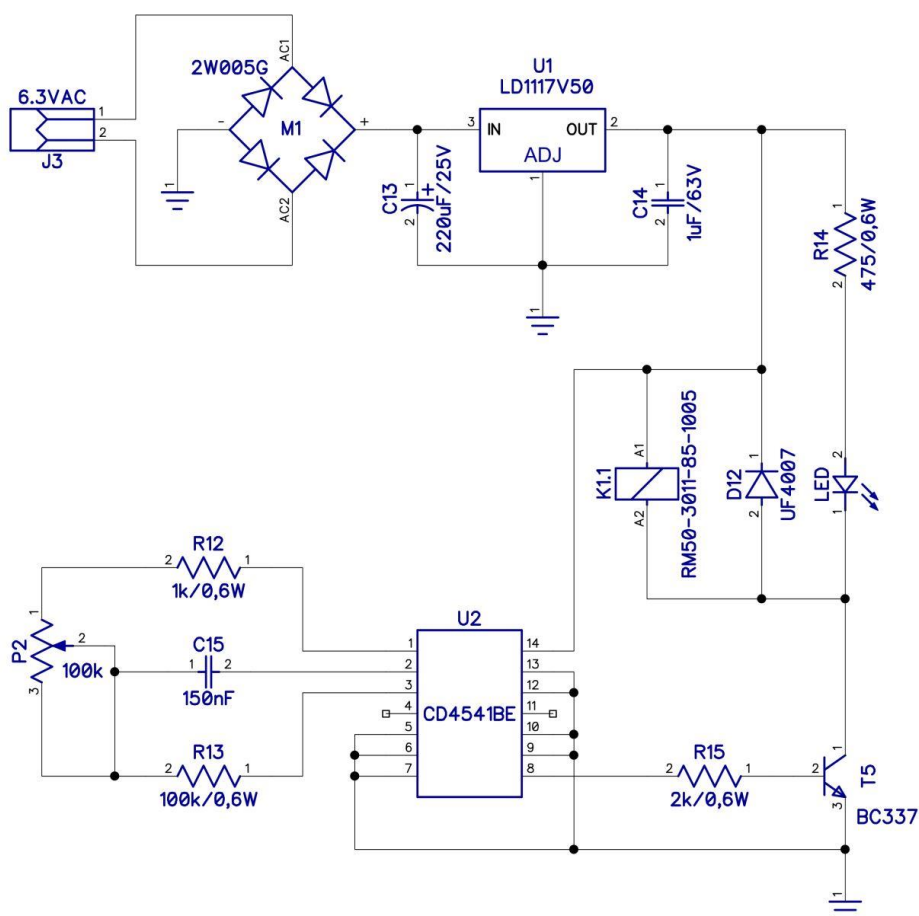
Zabezpieczenie przed krótkotrwałym przeciążeniem, zwarcie jest zrealizowane za pomocą rezystora R8 oraz diody Zenera D9. Spadek napięcia na rezystorze R8 wykorzystywany w układzie przeciążeniowym nie ma wpływu na nastawione napięcie wyjściowe, ponieważ wejście dzielnika R9, P1, R10 jest podłączone za nim a co za tym idzie układ wzmacniacza błędu napięcia na bieżąco kompensuje tenże spadek. Dioda D11 zabezpiecza układ przed "cofającym" się napięciem. Gdyby takowe się pojawiło np. z zasilanego układu. Ewentualny powstały szczytkowy szum na wyjściu zasilacza jest usuwany przez elementy L2, C11, C12, R11. Bezpiecznik F1 pełni funkcję awaryjną np. w przypadku długotrwałego zwarcia wyjścia zasilacza, którego należy unikać.

SQ9GIW

Opis układu opóźnionego załączania.

Głównym elementem układu jest scalony, programowany zegar typu CD4541BE. Został on skonfigurowany do pracy w roli włącznika z regulowanym czasem zwłoki. Rezystory R12, R13, potencjometr P2 oraz kondensator C15 to elementy współpracujące z wewnętrznym oscylatorem układu U2, mają one wpływ na długość odmierzanego czasu opóźnienia. Za pomocą potencjometru P2 nastawiamy czas opóźnienia załączenia zasilacza anodowego w zakresie od 2 do 120 sekund. Po odmierzaniu nastawionego czasu zwłoki z wyjścia nr 8 układu U2 poprzez rezystor R15 i następnie tranzystor T5 zostaje wysterowany przekaźnik K1, który załączając się podaje napięcie z uzwojenia wtórnego transformatora na wejście zasilacza. Stan ten jest sygnalizowany zaświeceniem się diody LED. Czas zwłoki regulujemy potencjometrem P2, obracając potencjometr zgodnie z ruchem wskazówek zegara skracamy czas zwłoki a przeciwnie wydłużamy. Dioda D12 zabezpiecza tranzystor T5 przed uszkodzeniem podczas przełączania przekaźnika K1. Cały układ Timer'a jest zasilany napięciem 5 V dostarczonym przez scalony stabilizator napięcia U1 Low Drop oraz prostownik zrealizowany na elementach M1, C13. Na złącze J3 podajemy napięcie zmienne 6.3 V np. bezpośrednio z uzwojenia żarzenia.

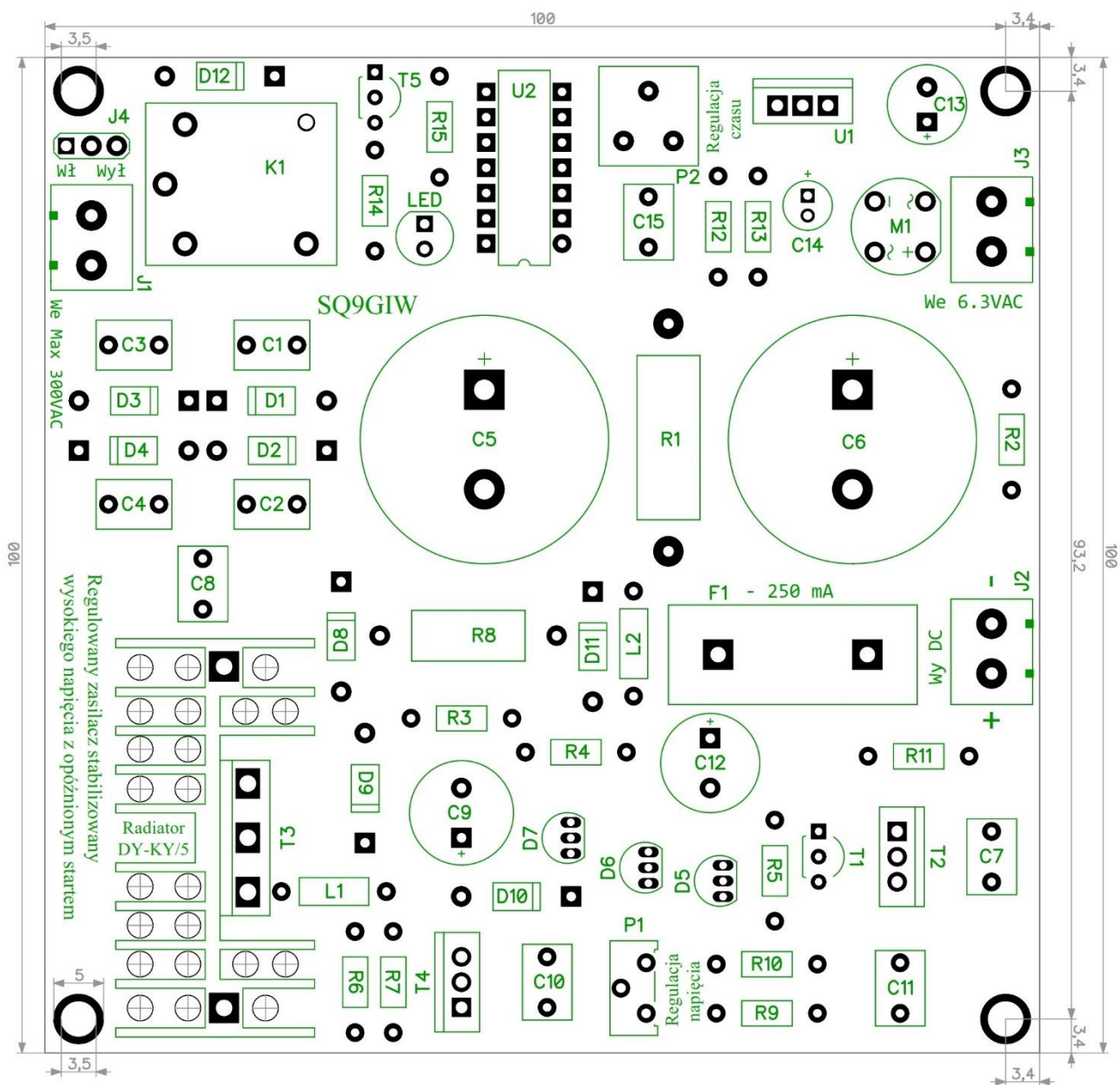
Uwaga !!! Jako U1 został zastosowany scalony stabilizator napięcia LDO typ LD1117V50, którego graniczne napięcie wejściowe wynosi 15 V. Więc aby nie doszło do uszkodzenia układu U1 na wejście J3 podajemy napięcie nie większe jak 9 VAC lub 12 VDC.



Wykaz elementów zestawu.

Sztuk	Identyfikator	Wartość	Typ	Producent
1	PCB	PCB	Płytką drukowaną 100x100mm	SQ9GIW
5	C1, C2, C3, C4, C10	2.2nF/630VDC	Kondensator polipropylenowy THT	WIMA
2	C5, C6	100uF/450VDC	Kondensator elektrolityczny niskoimpedancyjny SNAP-IN	NICHICON
2	C7	1uF/63VDC	Kondensator poliestrowy THT	KEMET
2	C8, C11	47nF/400VDC	Kondensator polipropylenowy THT	KEMET
1	C9	56uF/63VDC	Kondensator elektrolityczny niskoimpedancyjny THT	NICHICON
1	C12	10uF/450VDC	Kondensator elektrolityczny THT	NICHICON
1	C13	220uF/25VDC	Kondensator elektrolityczny THT	NICHICON
1	C14	22uF/25V	Kondensator elektrolityczny THT	NICHICON
1	C15	150nF	Kondensator polipropylenowy THT	WIMA
1	C16	100nF	Kondensator MLCC SMD 1206	VISHAY
8	D1, D2, D3, D4, D8, D10, D11, D12	UF4007	Dioda prostownicza ultraszybka 1kV 1A Ifsm 30A	DIOTEC SEMICONDUCTOR
3	D5, D6, D7	LM4040DIZ-10.0	Źródło napięcia odniesienia 10V ±1% 15mA	TEXAS INSTRUMENTS
1	D9	ZY6.8	Dioda Zenera 2W 6,8V	DIOTEC SEMICONDUCTOR
1	F1	0.25 A	Bezpiecznik topikowy szybki 250mA	ESKA
1	F1'	ZH32	Gniazdo z osłoną bezpieczniki cylindryczne 5x20mm	PROFFUSE
3	J1, J2, J3	ARK	Listwa zaciskowa do druku	DEGSON ELECTRONICS
1	J4	PIN 3	Listwa kołkowa PIN 3 proste 2,54mm	AMPHENOL
1	J4'	Zwora	Zwora kołkowa z uchwytem 2,54mm 1x2 złożony	FISCHER ELEKTRONIK
1	K1	RM50-3011-85-1005	Przełącznik elektromagnetyczny SPDT	RELPOL
2	L1, L2	FRH035060-A	Ferryt	FERROCORE
1	LED	LTL-307E	LED 5mm czerwony 5,6÷19mcd 50° 10mA 2÷2,6V Czoło wypukłe	LITEON
1	M1	2W005G	Mostek prostowniczy jednofazowy Urmax 50V If 2A Ifsm 60A	VISHAY
1	P1	50kΩ	Potencjometr montażowy wieloobrotowy	VISHAY
1	P2	100kΩ	Potencjometr montażowy	SR PASSIVES
1	R1	47Ω/5W	Rezystor drutowy THT 47Ω 5W ±5%	ROYAL OHM
2	R2, R11	390kΩ/0,6W	Rezystor metal film THT 390kΩ 0,6W ±1%	VISHAY
2	R3, R4	1.5MΩ/0,6W	Rezystor metal film THT 1,5MΩ 0,6W ±1%	VISHAY
4	R5, R6, R7, R14	475Ω/0,6W	Rezystor metal film THT 475Ω 0,6W ±1%	VISHAY
1	R8	7,5Ω/2W	Rezystor drutowy THT 7,5Ω 2W ±5%	ROYAL OHM
1	R9	162kΩ/0,6W	Rezystor metal film THT 162kΩ 0,6W ±1%	VISHAY
1	R10	20kΩ/0,6W	Rezystor metal film THT 20kΩ 0,6W ±1%	VISHAY
1	R12	1kΩ/0,6W	Rezystor metal film THT 1kΩ 0,6W ±1%	VISHAY
1	R13	100kΩ/0,6W	Rezystor metal film THT 100kΩ 0,6W ±1%	VISHAY
1	R15	2kΩ/0,6W	Rezystor metal film THT 1kΩ 0,6W ±1%	VISHAY
1	T1	BC548B	Tranzystor NPN bipolarny 30V 0,1A 500mW TO92	DIOTEC SEMICONDUCTOR
1	T2	STP5NK50Z	Tranzystor N-MOSFET 500V 2,7A 70W TO220	STMicroelectronics
1	T2'	274-2AB	Radiator wytłaczany U TO220 czarny	Wakefield-Vette
1	T3	STW20NK50Z	Tranzystor N-MOSFET 500V 12,6A 190W TO247	STMicroelectronics
1	T3'	RAD-DY-KY/5	Radiator prasowany TO247 czarny	STONECOLD
1	T4	BUX85G	Tranzystor NPN bipolarny 1kV 2A 40W TO220	ON SEMICONDUCTOR
1	T4'	274-2AB	Radiator wytłaczany U TO220 czarny	Wakefield-Vette
1	T5	BC337-25	Tranzystor NPN bipolarny 45V 0,8A 625mW TO92	DIOTEC SEMICONDUCTOR
1	U1	LD1117V50	Stabilizator napięcia LDO 5V	STMicroelectronics
1	U1'	274-2AB	Radiator wytłaczany U TO220 czarny	Wakefield-Vette
1	U2	CD4541BE	Zegar programowalny CMOS THT DIP14	TEXAS INSTRUMENTS
1	U2'	GOLD-14P	Podstawa DIP PIN 14 Raster 2,54mm precyzyjna THT złożony	CONNFly
4	Inne	M3	Zestaw śrub z nakrętkami do mocowania elementów na radiatorze	Inny
1	Inne	PASTA-SILH-05	Pasta termoprzewodząca	AG TERMOPASTY

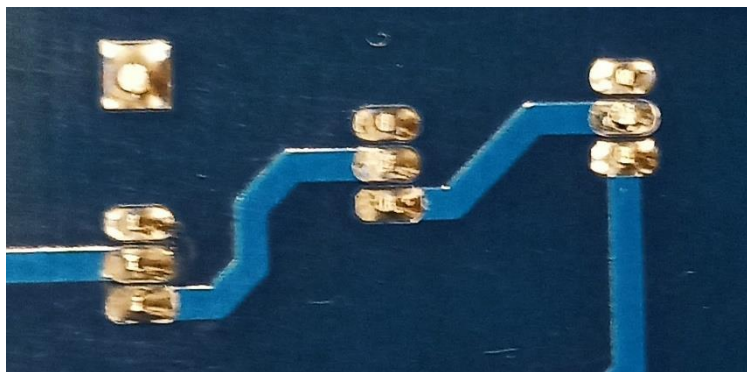
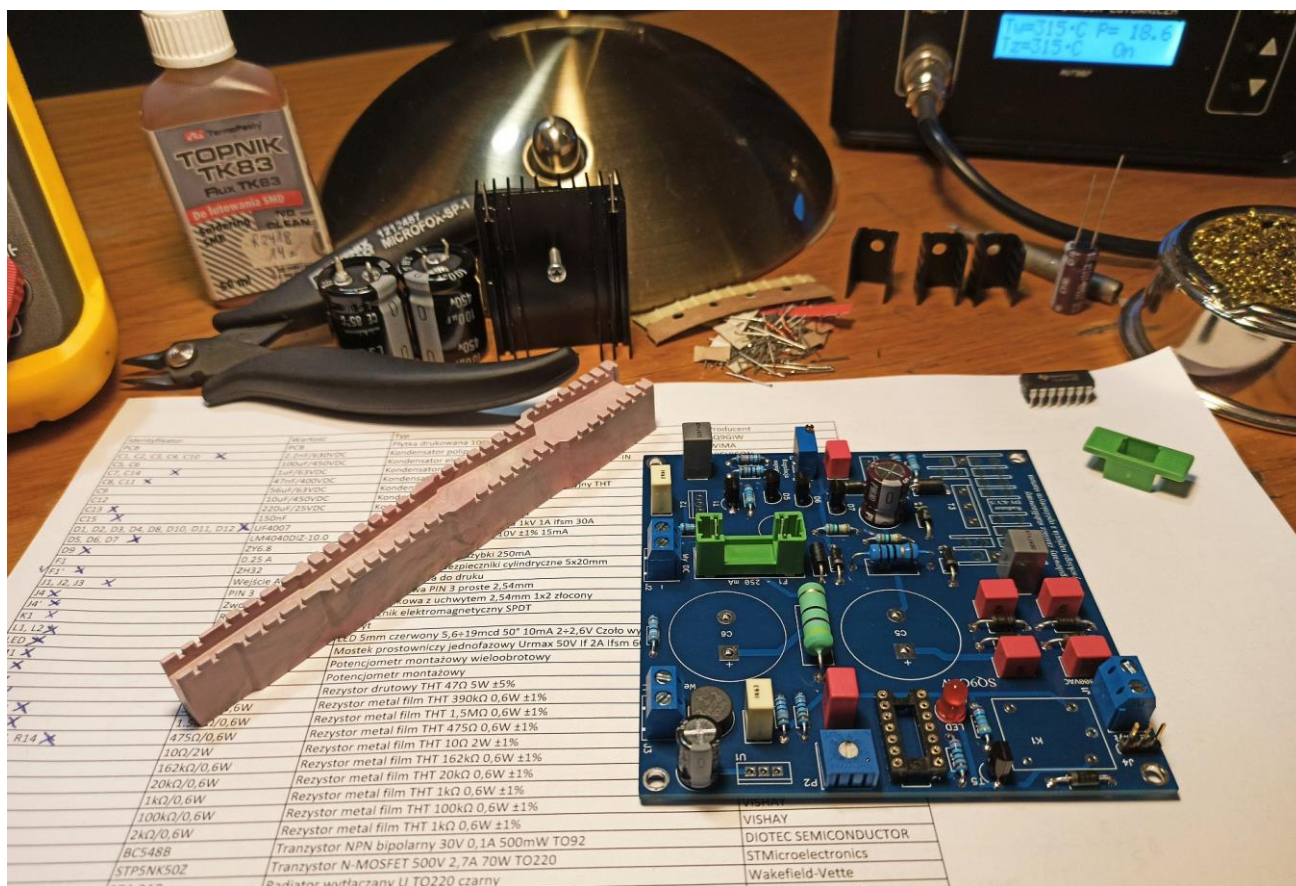
Widok PCB od strony elementów.



Montaž.

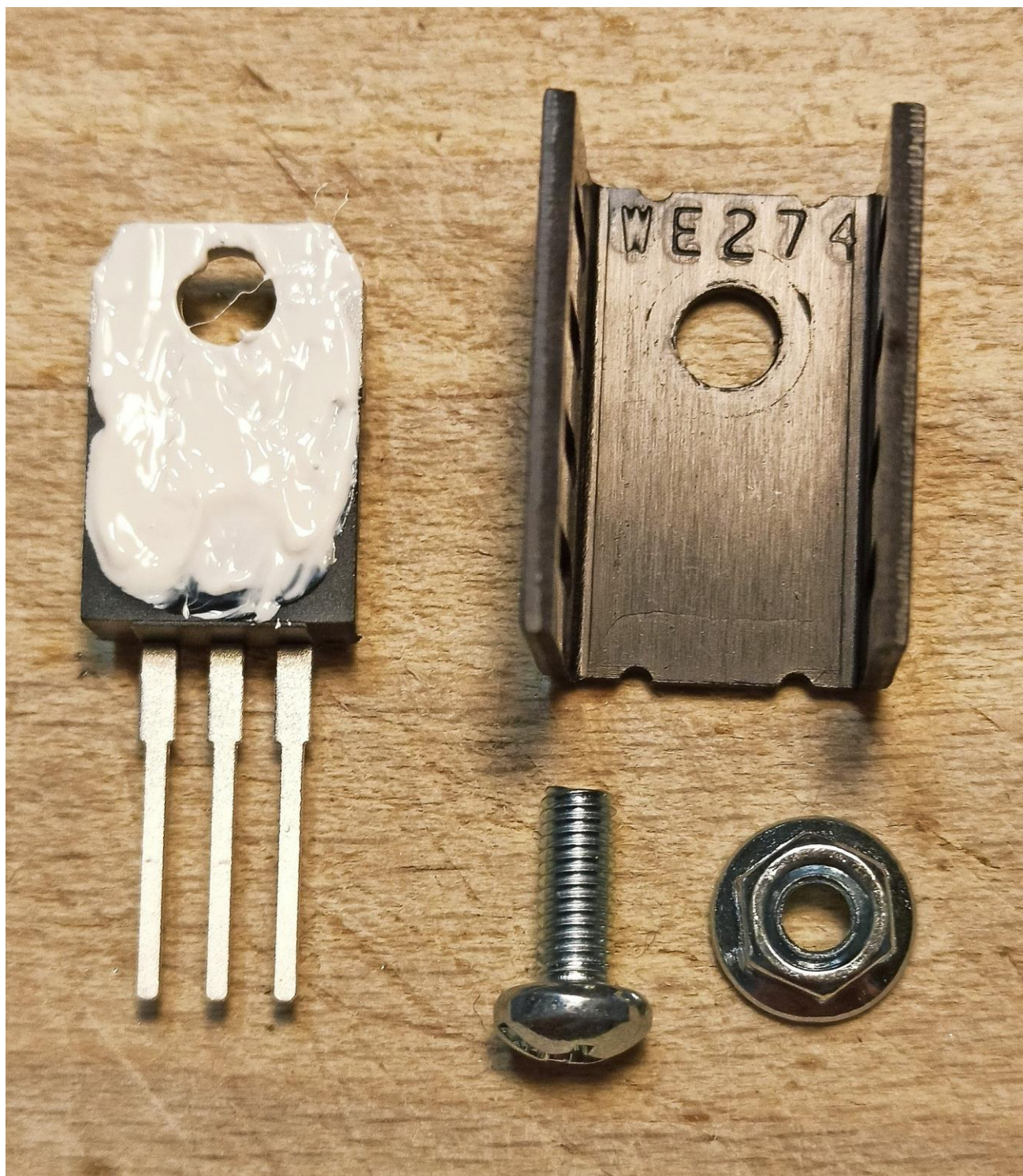
Montaż zasilacza warto rozpocząć od posegregowania jego elementów aby nie doszło do pomyłki. Np. wlutowania rezystora o innej wartości a niżeli właściwa. Tym bardziej, iż większość rezystorów występujących w zestawie jest o tolerancji 1% a co za tym idzie do oznaczenia ich jest stosowany kod pięcio-paskowy. Ewentualna pomyłka przy tak wysokich napięciach pracy zazwyczaj kończy się uszkodzeniem drogocennych elementów.

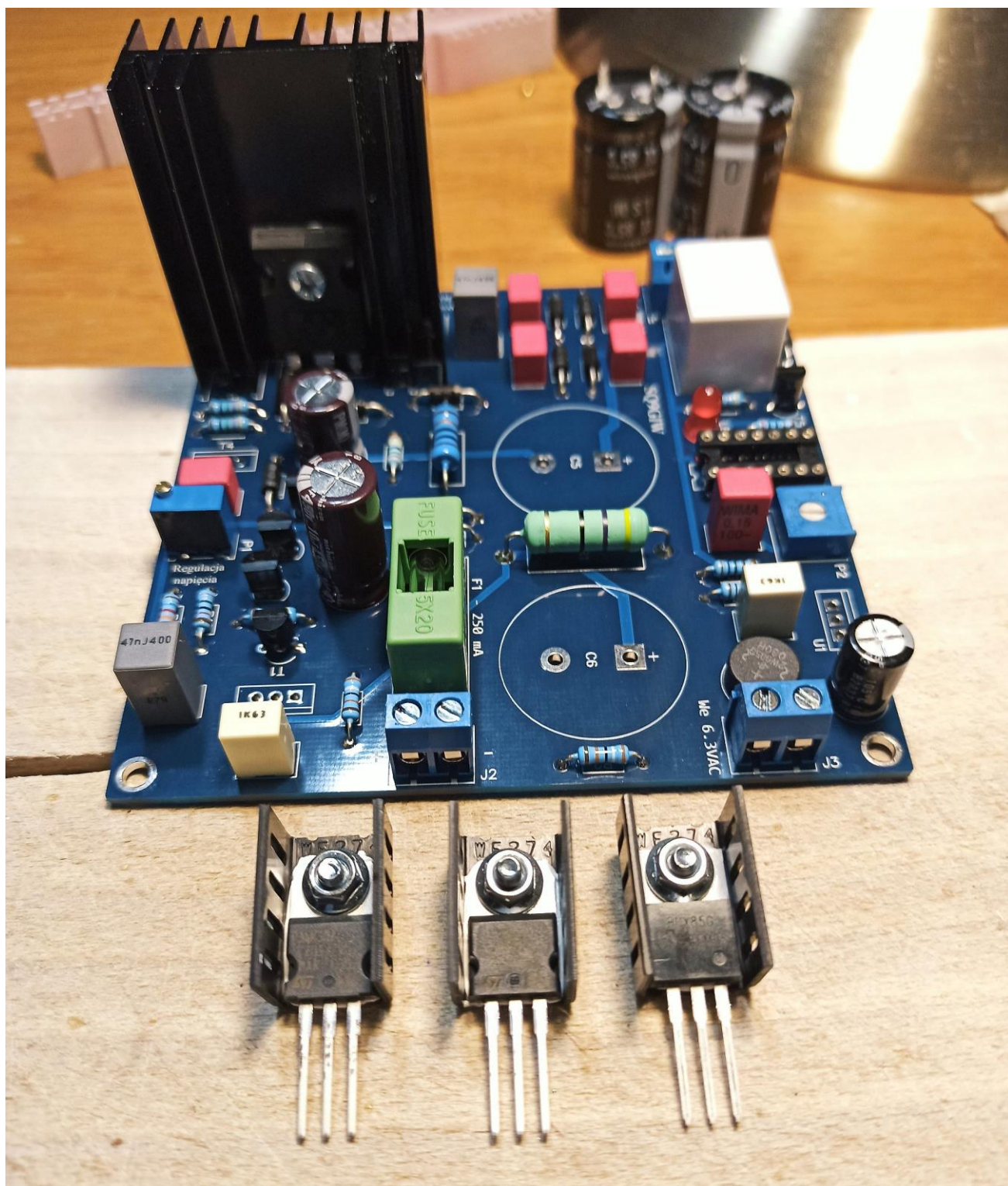
Następnie rozpoczynamy montaż od wlutowania najmniejszych elementów. Rezystory R1 i R8 montujemy od 3 do 5mm nad płytką aby ułatwić oddawanie ciepła do otoczenia przez te elementy.



Należy zwrócić szczególną uwagę podczas montażu D5, D6, D7 aby nie doszło do zwarcień między wyprowadzeniami.

Następnie przygotowujemy elementy T2, T3, T4, U1 umieszczając je na radiatorach uprzednio pokrywając każdy element cienką warstwą pasty termoprzewodzącej. Nie stosujemy żadnych przekładek izolacyjnych co znacznie poprawia chłodzenie elementów. Jednocześnie mając cały czas na uwadze, iż na tak obsadzonych radiatorach pomimo czarnej warstwy izolacyjnej może wystąpić wysokie napięcie !!!





Po obsadzeniu PCB wszystkimi elementami uważnie sprawdzamy poprawność montażu !!!

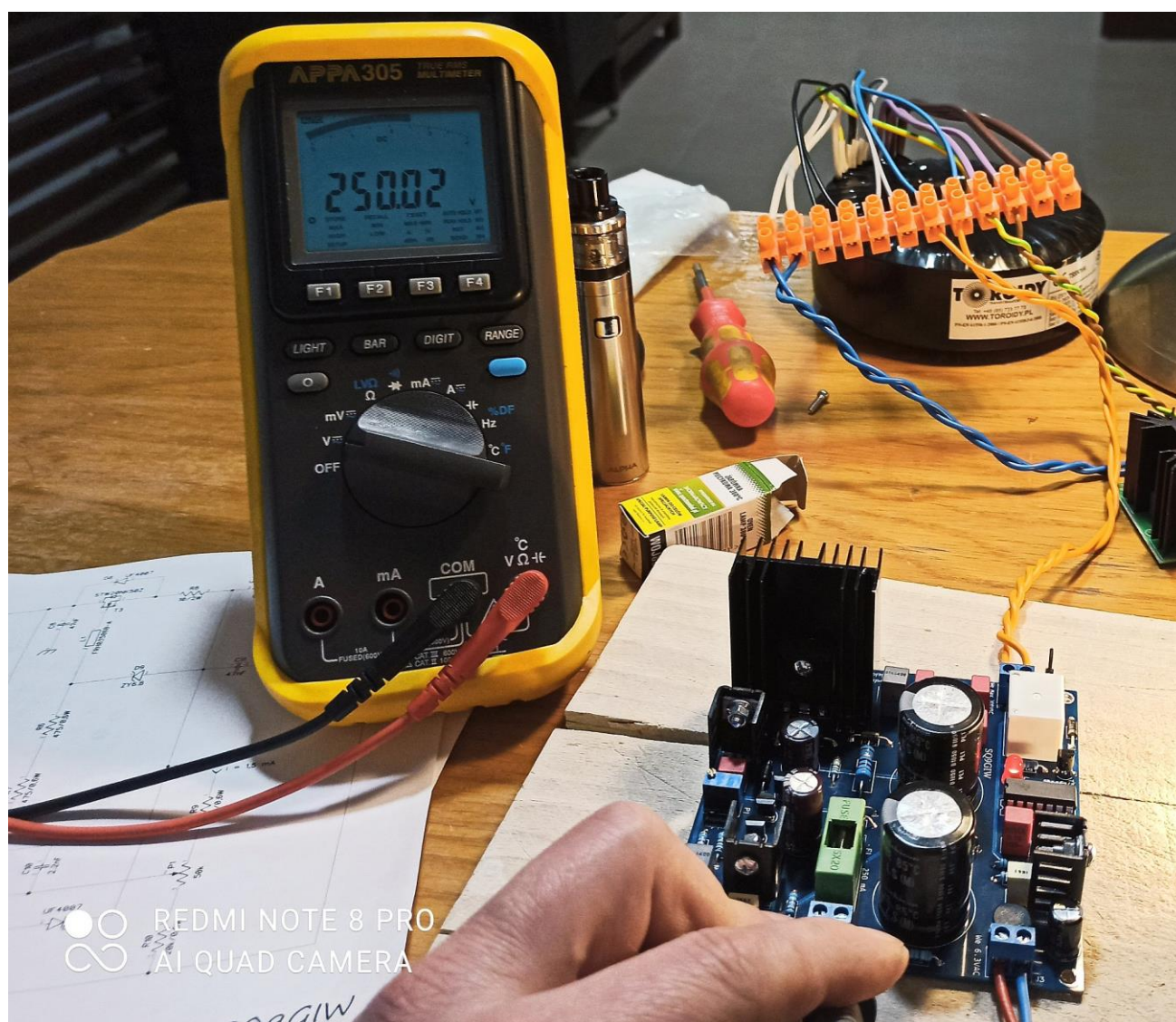


Uruchomienie.

Uruchomienie warto rozpocząć od układu odpowiedzialnego za opóźnione załączenie zasilacza. W tym celu podajemy na złącze J3 napięcie z zakresu 6 – 9 VAC lub 7 – 12 VDC uprzednio ustawiając potencjometr P2 w prawe skrajne położenie co odpowiada najkrótszej zwłoce. Po podaniu napięcia po chwili powinniśmy usłyszeć „kliknięcie” przekaźnika a dioda LED powinna się zapalić. Następnie możemy sprawdzić działanie układu czasowego dla dłuższej zwłoki. Jeżeli wszystko działa jak należy możemy przejść do uruchomienia zasilacza HV. W tym celu wygodnie jest odłączyć zasilanie układu czasowego oraz ustawić zworę J4 w pozycję „Wył”. Dzięki temu omijamy zestyki przekaźnika K1.

Stabilizator do poprawnej pracy wymaga minimalnej różnicy napięcia pomiędzy jego wejściem a wyjściem rzędu 15 – 20 VDC. Gdzie napięcie wejściowe DC to napięcie występujące na kondensatorze C6 czyli za rezystorem R1. Ciągła moc tracona na tranzystorze T3 nie powinna przekraczać 10 W.

Na złącze J1 podajemy napięcie z uzwojenia wtórnego transformatora o wartości np. 300 VAC. Następnie kontrolujemy napięcie na wyjściu zasilacza regulując potencjometrem P1. Zakres nastawy napięcia powinien mieścić się w przedziale 110 – 350 V. W układzie modelowym zakres nastawy wyniósł 105 – 358 V.



Przykład.

Zasilacz zostanie wmontowany na stałe do obudowy wzmacniacza lampowego zbudowanego na bazie popularnego KIT'u AVT 2754. Układ wymaga zasilania napięciem 300 V oraz pobiera około 160 mA.

Jak już wspomniano wcześniej stabilizator do poprawnej pracy wymaga różnicy napięcia $U_{we} - U_{wy} = 20 \text{ V}$. Uwzględniając iż napięcie sieci 230 V może się wahać zakładamy minimalną różnicę na poziomie 25 V mierzoną na C6 czyli za rezystorem R1. W praktyce aby poznać aktualną różnicę jaka panuje w układzie wygodnie jest dokonać pomiaru napięcia bezpośrednio na diodzie D8. Teraz wyliczamy odkładające się napięcie na rezystorze R1 z zależności $U = R \times I$. Czyli $U = 47[\Omega] \times 0,16[\text{A}] = 7,52[\text{V}]$. W praktyce zakładamy 10 V, które dodajemy do naszej minimalnej różnicy. Uwzględniając nasze rachunki wymagane napięcie na C5 (czyli przed R1) powinno być nie mniejsze a niżeli 335 VDC. W takim przypadku na T3 wydzieli się moc $P = U \times I = 25[\text{V}] \times 0,16[\text{A}] = 4[\text{W}]$ co jest doskonałym wynikiem – tranzystor T3 nie będzie się nadmiernie nagrzewać.

Uwzględniając powyższe należy zastosować transformator:

Uzwojenie pierwotne – 230 VAC

Uzwojenie wtórne – 265-270 VAC / 0,3 A

Dokładne teoretyczne wyliczenie transformatora jest dość skomplikowane i wybiega poza ramy niniejszej dokumentacji. Jednakże do naszych celów wystarczające jest przyjęcie w przybliżeniu iż napięcie na C5 nieobciążonego zasilacza wyniesie:

$$U_{C5} = U_{wt} \times \sqrt{2}$$

Natomiast obciążonego zakładanym prądem nominalnym:

$$U_{C5} = U_{wt} \times 1,265$$

Gdzie U_{wt} to napięcie uzwojenia wtórnego transformatora.

Jerzy via SQ9GIW