



Spawarka inwertorowa 130A



W dobie przetwornic impulsowych spawarki inwertorowe to żadna nowość. Jednak mimo niezbyt skomplikowanej budowy, nie cieszą się popularnością wśród elektroników. W poniższym artykule chciałbym przedstawić w sposób i czytelny jasną konstrukcję mocnej spawarki, która powinna zadowolić każdego majsterkowicza. W razie potrzeby bardzo łatwo można ją rozbudować do jeszcze mocniejszej wersji (nawet do 200A). W oparciu o ten projekt wykonałem już 3 spawarki (2x130A i jedną 120A). Pracują one niezawodnie już dość długo, co utwierdziło mnie w przekonaniu, że warto ją przedstawić Czytelnikom EdW.

Jak każda przetwornica impulsowa, spawarka składa się z kilku bloków. Schemat blokowy przedstawiono na **rysunku 1**. Pierwszym z nich jest blok zasilacza sieciowego z filtracją. Przekształca on zmienne napięcie 230V na stałe 320V. Następnie wyprostowane napięcie trafia do falownika, gdzie jest przekształcane na impulsy prostokątne o dużo większej częstotliwości (około 40kHz). Impulsy te trafiają do transformatora głównego. Potem prąd płynie do diod prostowniczych, gdzie przez dławik dalej trafia do elektrody.

Wymagania, jakie stawia się tym urządzeniom, są dość wygórowane. Podczas pracy jałowej spawarka musi podawać na wyjściu napięcie około 60-80V. Tak wysoki potencjał jest wymagany ze względu na konieczność zajarzenia

łuku. Kiedy dojdzie do rozpoczęcia procesu spawania napięcie na wyjściu spada do wartości 17-30V. Oczywiście opisuję tutaj metodę spawania MMA (elektrodą otuloną). Konieczność długiego oddawania prądu o dużej wartości także jest niemałym problemem do pokonania. Budowa musi być niezawodna, a konstrukcja w miarę prosta, tak aby nie była zbyt kosztowna.

Topologia

Nasza bohaterka pracuje w topologii przetwornicy przepustowej 2-tranzystorowej (ang. forward). Już sama nazwa wskazuje, że maksymalne wypełnienie impulsów sterujących nie może przekroczyć 50%. Na **rysunku 2** widać istotę tej topologii. Działanie przetwornicy w układzie forward jest dwuetapowe. W pierwszej fazie prąd płynie przez klucze K1, K2, oraz uzwojenie pierwotne Tr1, następnie przez uzwojenie wtórne Tr1, diodę D3 i dławik L1 do elektrody. Kierunek przepływu prądu w tej fazie obrazują zielone strzałki. Klucze są załączane jednocześnie. W drugim etapie rdzeń jest roz magnesowywany przez diody zwrotne (D1, D2) przy kluczach. Jednocześnie w tym momencie zaczyna przewodzić dioda D4, przez którą podtrzymywany jest prąd zmagazynowany w dławiku. Dławik

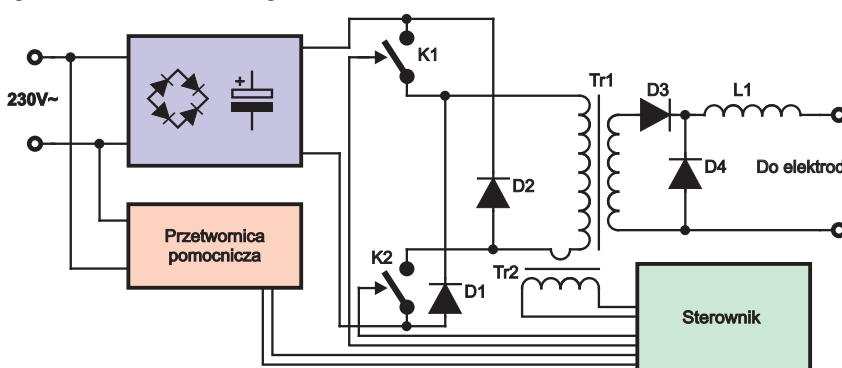
jest kluczowym elementem konstrukcji. To w nim gromadzi się energia, która następnie jest oddawana do elektrody. Dzięki dławikowi prąd narasta wolno, przez co układ sterownika ma czas na zadziałanie. Gdyby dławika nie było, w przypadku zwarcia wyjścia transformatora od strony wtórnej, na stronie pierwotnej także wystąpiłyby natychmiastowy uder prądowy w wyniku czego tranzystory kluczujące uległyby zniszczeniu.

Opis układu

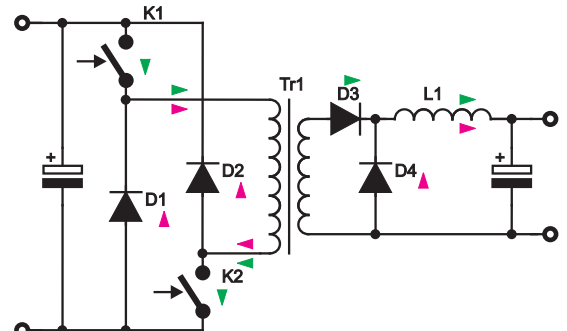
Sercem sterownika (**rysunek 3**) jest układ UC3845. W nim zawarty jest generator, komparator i cała logika trybu prądowego (patrz schemat wewnętrzny). Na nóżkę 3 podawany jest sygnał z przekładnika prądowego (zamienia on prąd płynący po stronie pierwotnej na napięcie). Napięcie to jest porównywane z drugim wejściem komparatora trybu prądowego. Kiedy jest ono większe od wartości ustalonej przez potencjometr, układ podaje stan wysoki na wejście reset przerzutnika RS, przez co szerokość impulsów wyjściowych ulega zmianie.

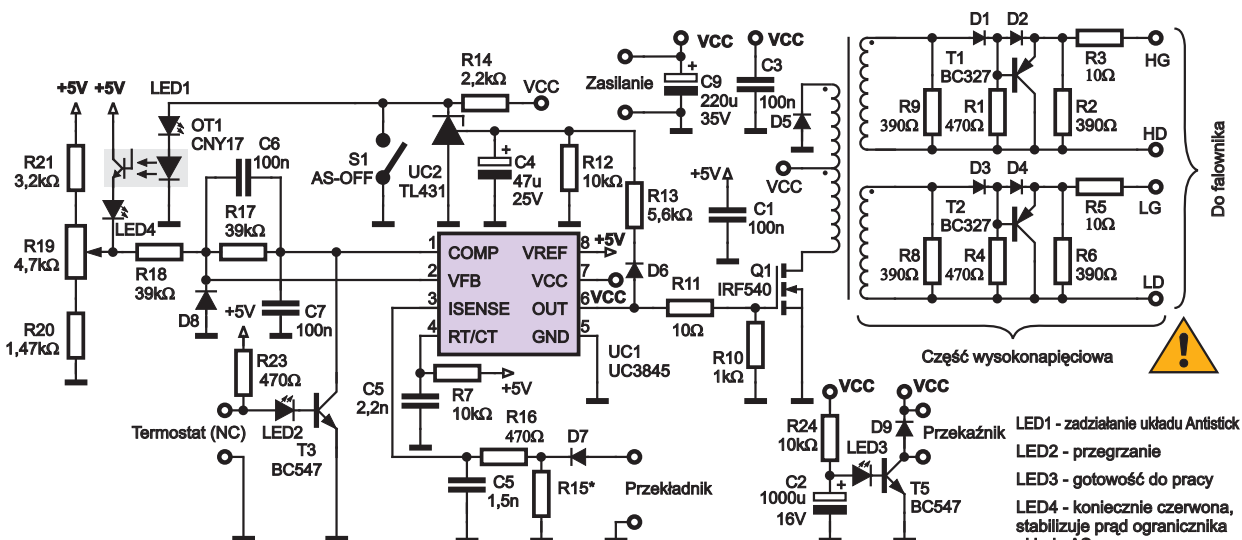
Wewnętrzny wzmacniacz błędu z rezystorami R17 i R18 tworzy wzmacniacz odwracający o wzmacnieniu (-1). Napięcie z potencjometru jest odwracane względem połowy napięcia odniesienia, dlatego **maksymalny prąd uzyskujemy skracając potencjometr najbliższej masy**.

Rys. 1 Schemat blokowy



Rys. 2 Topologia





Rys. 3 Schemat ideowy sterownika

Stałą czasową oscylatora wyznaczają: kondensator C5 i rezystor R6. Wartości tych elementów dobieramy z tabelki (nota katalogowa). Dla spawarki z projektu jest to 40kHz. Sterownik posiada funkcję AS (z j. ang. Antistick – układ antyprzywieraniowy). Elementy D6, R12, R13, C4 zamieniają współczynnik wypełnienia sygnału na napięcie. Układ TL431 pełni funkcję komparatora, kiedy napięcie na jego nóżce jest większe od 2,5V nie pozwala na zaświecenie diody w transoptorze. Jednak w momencie, kiedy wypełnienie sygnału wyjściowego sterownika spadnie poniżej 5% (dzieje się tak w momencie sklejenia się elektrody z materiałem) dioda w transoptorze zaczyna świecić, tak samo jak dioda LED1. Kiedy to nastąpi, tranzystor zawarty w strukturze transoptora podciąga środkowy suwak potencjometru przez diodę LED czerwoną do napięcia 5V. Ogranicza to skutecznie prąd wyjściowy do około 40A. Wartość prądu stabilizuje dioda czerwona LED4. Dzięki temu układowi przyklejona elektroda nie rozgrzewa się do czerwoności, a także daje się spokojnie oderwać od materiału (bez niszczenia uchwytu). Złącze AS-OFF umożliwia zablokowanie układu AS (czasem taka możliwość się przydaje). Układ AS jest odporny na wszelkie

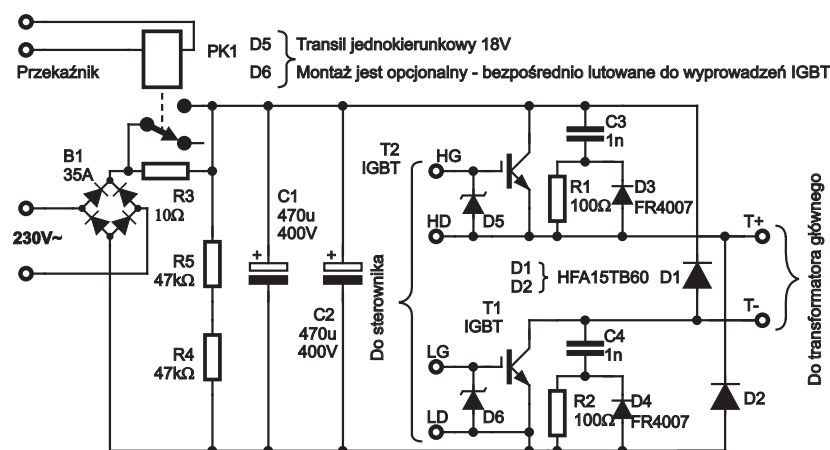
chwilowe zwarcia, jakie występują podczas procesu spawania. Mowa tu o splywaniu kropelki ciekłego metalu z elektrody do jeziora spawalniczego. Odporność na tego typu zakłócenia układ zawdzięcza kondensatorowi C4. Jeśli w gotowym urządzeniu układ byłby zbyt wrażliwy, należy najpierw zwiększyć pojemność C4, a jeśli to nie pomoże można zmniejszyć nieco rezystancję R13. Sygnał z wyjścia kostki UC trafia przez rezystor R11 na bramkę tranzystora Q1. Kluczuje on transformator sterujący. Natomiast dioda D5 rozmagnesowuje rdzeń.

W skład sterownika wchodzi także układ wyzwalania kluczy IGBT, oparty o transformator sterujący i drivery. Układ drivera poprawia stromość impulsów sterujących. W tym układzie należy bezwzględnie zastosować rezystory bramkowe. Wartości rezystancji podanych na schemacie nie są krytyczne, jednak zostały one dobrane w taki sposób, aby zniwelować niekorzystne oscylacje w transformatorze sterującym.

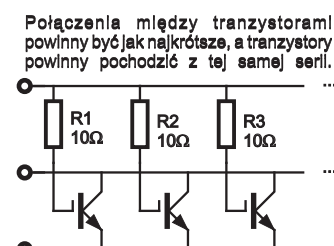
Prostownik sieciowy i falownik jest najprostszym modulem przetwornicy. Schemat tego modułu przedstawiono na rysunku 4. Rezystor R1 ma za zadanie zniwelować udar prądowy spowodowany ładowaniem dużych pojemności C1, C2. Kiedy sterownik

podaje stan wysoki na cewkę przekaznika, przetwornica jest odporna na zwarcia (ma ograniczenie prądowe). Dodatkową zaletą jest stabilna częstotliwość pracy. Rezystor R6 odpowiada za start po włączeniu spawarki. Kiedy sterownik się włącza, zasila siebie przez uzwojenie S2. Kontrola prądu odbywa się przez rezystory R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R20, R21, R22, R23, R24, R25, R26, R27, R28, R29, R30, R31, R32, R33, R34, R35, R36, R37, R38, R39, R40, R41, R42, R43, R44, R45, R46, R47, R48, R49, R50, R51, R52, R53, R54, R55, R56, R57, R58, R59, R60, R61, R62, R63, R64, R65, R66, R67, R68, R69, R70, R71, R72, R73, R74, R75, R76, R77, R78, R79, R80, R81, R82, R83, R84, R85, R86, R87, R88, R89, R90, R91, R92, R93, R94, R95, R96, R97, R98, R99, R100.

Rys. 4 Schemat ideowy falownika



Rys. 5 Łączenie IGBT



Prąd:	115A	130A	160A
Transformator główny:	E65 materiał 3C90	E71 materiał 3C90 lub większy np. UI93	E71 materiał 3C90 lub większy np. UI93
Dławik:	2xE55 lub E65	2xE55 lub E65	E71
Tranzystory kluczujące:	2xIRG4PC50W lub 2xSTGW30NC60W	2xIRG4PC50W lub 2xSTGW30NC60W	4xIRG4PC50W lub 4xSTGW30NC60W
Diody prostownicze:	BYV 255/200	2xBYV 255/200	2xBYV 255/200
Kondensatory filtrujące:	2x470uF/400V	2x470uF/400V lub 3x470uF/400V	3x470uF/400V lub 3x680uF/400V
Mostek prostowniczy	35A	50A	2x50A

Tabela 1

stor bocznikujący – R6. Podzespoły R1 i C2 wyznaczają częstotliwość pracy przetwornicy – 100kHz. Transoptor z elementami R10, D11, D8 odpowiada za stabilizację napięcia. Kontrola PWM odbywa się przy pomocy tranzystora zawartego w strukturze transoptora i wewnętrznego źródła prądowego sterownika. C9, R13 i D7 tworzą gasik, który tłumi oscylacje pasożytnicze. Jako tranzystor kluczujący można wykorzystać także 2N60, który często znajdziemy w zasilaczach komputerowych. Podobnie transoptor.

Transformator przetwornicy pochodzi z zasilacza ATX. Dokładnie z układu STAND-BY, czyli 5VSB. Jednak nie wszystkie transformatoriki będą pasować. Jedynym, który dawał zadowalające efekty był taki, który posiadał szeregowo połączenie linii 5V i zasilającej sterownik ATX-a. Tutaj trzeba poeksperymentować, lub pokusić się o nawinięcie własnego. Dla rdzenia pochodzącego z przetwornicy STAND-BY zasilacza ATX:

- pierwotne (S1): 160 zw. drutem 0,2mm (dzielone na dwie warstwy, a pomiędzy nimi uzwojenia wtórne i pomocnicze),
- wtórne (PRI): 16 zw. drutem 0,3mm,
- pomocnicze (S2): 16zw. drutem 0,2mm.

Czas na wielkie liczenie

Zanim przystąpimy do budowy spawarki należy obliczyć kilka kluczowych elementów, które dobiera się zależnie od mocy, jaką chcemy uzyskać. Przykładowe części elektroniczne

ne pokazane są w tabeli 1.

Na początku proponuję obliczyć transformator główny. Do obliczeń uzwojenie pierwotne traktujemy, jako dławik. Najpierw obliczamy indukcyjność dla dobranej przez siebie liczby zwojów (w moim przypadku 21):

$$L = AL * z^2$$

z – liczba zwojów,

AL – podane w katalogu.

Np.

$$L = 10800 * 21^2 = 4762800nH = 4,76mH$$

Następnie obliczamy prąd magnesujący rdzenia. Jest to prąd, który płynie podczas jałowej pracy spawarki.

$$I_m = \frac{U * t * k}{L}$$

U – napięcie zasilające doprowadzone do falownika

t – czas trwania okresu (t=1/f)

L – indukcyjność

k – maksymalny współczynnik wypełnienia, dla topologii forward 0,5 – 50%

Np.

$$I_m = \frac{320V * 0,5 * 25}{4,76} = 840,3mA = 0,84A$$

Ostatnim parametrem, jaki obliczymy będzie indukcyjność. Musi być ona mniejsza niż wartość podana w katalogu, dla materiału 3C90 nie powinna ona przekroczyć 330mT.

$$B = \frac{u_e * u_0 * I_m * z}{l_e}$$

u_e – przenikalność względna rdzenia (z katalogu)

u_0 – przenikalność magnetyczna próżni ($\sim 1,25 * 10^{-6} V*s/A*m$)

I_m – policzyliśmy wcześniej

z – liczba zwojów

l_e – długość drogi strumienia w rdzeniu – z katalogu

Np.

$$B = \frac{1880 * 1,25 * 0,84 * 21}{149} = 278,2mT$$

Kiedy mamy parametry uzwojenia pierwotnego, należy obliczyć liczbę zwojów uzwojenia wtórnego.

$$\frac{1}{3} = \frac{z_w}{z_p}$$

z_w – liczba zwojów uzwojenia wtórnego

z_p – liczba zwojów uzwojenia pierwotnego

Np.

$$\frac{1}{3} = \frac{z_w}{21} \quad z_w = 7$$

Stosunek 1:3 jest najlepszy dla spawarek pracujących w układzie forward dwutranzystorowy. Wszystkie przykładowe obliczenia transformatora głównego dotyczyły rdzenia E71 z materiału 3C90.

Teraz czas na rezystor przekładnika prądowego.

$$R = \frac{1}{\frac{z_w}{z_p} * I_{wy}}$$

z_w – liczba zwojów w uzwojeniu wtórnym

z_p – liczba zwojów w uzw. pierwotnym

I_{wy} – prąd wyjściowy spawarki

Np.

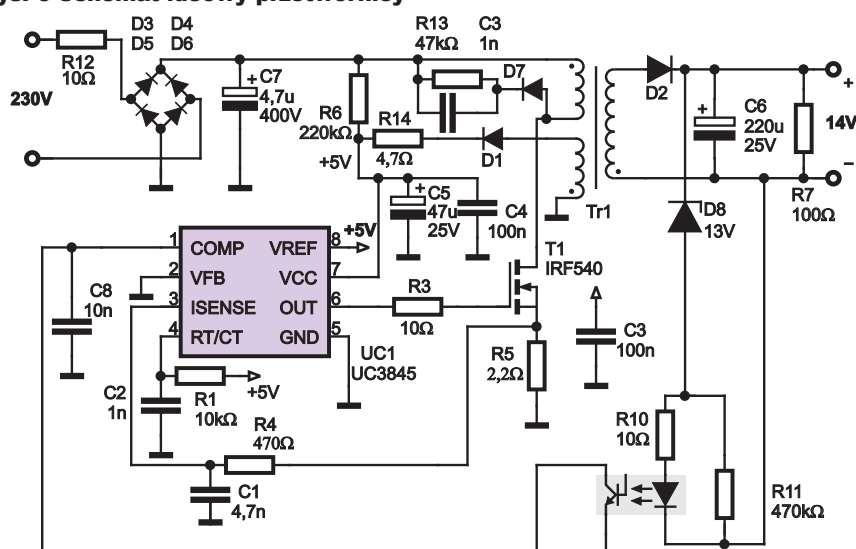
$$R = \frac{1}{\frac{7}{21} * 130} = \frac{1}{\frac{1}{3} * 130} = \frac{1}{0,86} = 1,15\Omega$$

W rzeczywistości, aby uzyskać maksymalny prąd, konieczne może się okazać zmniejszenie wartości rezystora. W moim przypadku musiałem zastosować rezystor 1Ω. Ostatnim elementem indukcyjnym, jaki należy dobrać, jest dławik wyjściowy. Powinien mieć on indukcyjność w granicach 15μH lub więcej. Wartość ta nie jest krytyczna, jednak od dławika zależy jakość prądu wyjściowego spawarki. Dławik należy tak dobrać, aby się nie nasycał przy maksymalnym prądzie. Zasady liczenia są podobne jak dla transformatora, należy jedynie pamiętać o dobraniu szczeliny powietrznej takiej, aby nie przekroczyć indukcyjności dla danego materiału. W przypadku dławika należy trochę poeksperymentować z liczbą zwojów i szczeliną. Do wyliczeń stosujemy wzory:

$$B = \frac{u_e * u_0 * I_w * z}{l_e}$$

u_e – przenikalność względna rdzenia (z katalogu)

Rys. 6 Schemat ideowy przetwornicy



Parametr:	EE65 3C90	EE71 3C90
Częstotliwość pracy	40kHz	40kHz
Liczba zwojów na pierwotnym	27	21
Liczba zwojów na wtórnym	9	7
Pierwotne	7xDNE0,65 ułożone płasko w 4 warstwach	7xDNE0,7 ułożone płasko w 3 warstwach
Wtórne	3x skrętka 7xDNE0,65 w 2 warstwach	3x skrętka 7xDNE0,7 w 2 warstwach

Tabela 2

gu), w tym przypadku zależna od szczeliny u_0 – przenikalność magnetyczna próżni ($\sim 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ V*s/A*m}$)

I_w – maksymalny prąd wyjściowy spawarki

z – liczba zwojów

l_e – długość drogi strumienia w rdzeniu – z katalogu

$$L = AL * z^2$$

z – liczba zwojów

AL – podane w katalogu, w tym przypadku zależny od szczeliny

Przy obliczaniu dławika należy pamiętać o dwóch ważnych zasadach. Po pierwsze, dławik nie pracuje ciągle z maksymalnym prądem, więc wartość indukcji może być lekko przekroczona w stosunku do danych producenta (oczywiście w granicach rozsądku). Drugą rzeczą, na jaką należy zwrócić uwagę, jest szczelina powietrzna. W katalogu podana jest jej szerokość w przypadku rdzeni ze szczeliną tylko na środkowej kolumnie. W przypadku szczeliny zrobionej za pomocą przekładek wartość z katalogu dzielimy na 2. W przypadku dławika złożonego z dwóch rdzeni E55 wartość indukcyjności traktujemy jakbyśmy połączyli 2 dławiki szeregowo. Czyli na jeden rdzeń przypada około 15μH. Np.

$$B = \frac{28 * 1,25 * 130 * 12}{149} = 366,44 \text{ mT}$$

$$L = 100 * 12^2 = 14400 \text{ nH} = 14,4 \mu\text{H}$$

Reasumując, dławik na podwójnym rdzeniu E55 powinien posiadać 12 zwojów, oraz szczelinę powietrzną w granicach 4mm, na każdej kolumnie rdzenia.

Półprzewodniki i rdzenie

Elementy podane w tabelce 2 nie są krytyczne. Często zdarza się, że w urządzeniach przeznaczonych do zniszczenia znajdujemy ciekawe półprzewodniki czy rdzenie. W przypadku tranzystorów kluczujących liczy się prąd maksymalny, ale ten podany przy odpowiedniej częstotliwości. Ważnym parametrem MOSFET-ów i IGBT jest pojemność bramki (im mniejsza tym lepsza), z czym bezpośrednio wiąże się czas przełączania. Kolejnym parametrem, na jaki należy zwrócić uwagę, jest prąd chwilowy. Napięcie przebicia powinno być nie mniejsze niż 500V. W topologii forward jest obojętne, czy tranzystor posiada

one negatywne cechy jakie posiadają MOSFET-y, czyli np. wartość oporności między drenem a źródłem.

Diody zwrotne w falowniku powinny być szybkie tzw. Fast Recovery, a napięcie przebicia mniejsze niż 600V. Prąd co najmniej 15A. Obudowa nie gra roli, jednak płytka jest zaprojektowana pod TO-220. Te diody przyjmują od 15-25% prądu płynącego przez uzwojenie pierwotne podczas drugiej fazy pracy przetwornicy.

Diody wyjściowe to kolejny kosztowny element tej konstrukcji. Koniecznie muszą być to diody szybkie, w dużych obudowach (min. TO-247). Napięcie przewodzenia powinno być jak najmniejsze. Należy zastosować diody o prądzie większym niż prąd spawarki. Oczywiście diody można łączyć równolegle. Napięcie przebicia nie mniejsze niż 200V. Mimo, że napięcie jałowe spawarki to tylko 60-70V, to diody powinny być na wyższe napięcie, ze względu na ryzyko występowania przepięć. Czas rekombinacji nośników do 200ns.

W przypadku rdzeni nie ma konkretnych wytycznych. Ferryt, z jakiego zostały wykonane, musi poprawnie pracować przy częstotliwości około 50kHz. Na rynku znajdziemy szereg takich rdzeni. Niektórzy wykorzystują do swoich konstrukcji rdzenie z transformatorów linii (trafa HV w TV). W celu zapewnienia odpowiedniej mocy składają rdzeń np. z 6 ramek.

Wiele elektronicznej drobnicy znajdziemy na płytach zasilaczy komputerowych. Często można z nich odzyskać np. rdzeń na transformator sterujący bramkami. W zasilaczach znajdziemy także dławiki. Chcąc zastosować rdzeń zasilacza jako pierścień przekładnika

zintegrowaną diodę, czy też nie. Tranzystory powinny być w dużej obudowie, najlepiej TO-247. Najlepiej stosować nowoczesne tranzystory IGBT, ponieważ likwidują

prądowego, należy uważać. Nie można zastosować rdzeni koloru żółtego, ponieważ to rdzenie ze sproszkowanego żelaza. W grę wchodzi jedynie niemalowane ferrytowe pierścienie, lub rdzenie zielone (często stosowane jako dławiki 220V).

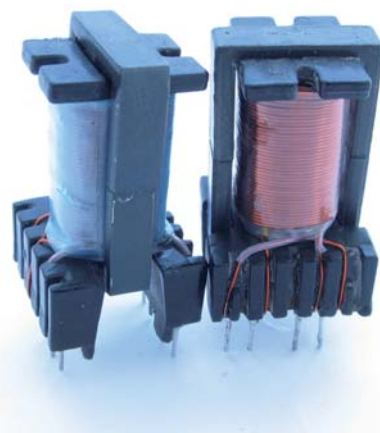
Jak widać, wiele elementów można odnaleźć w nieużywanych lub zepsutych urządzeniach. Przydatne są wszelkiego rodzaju przetwornice (zasilacze komputerowe, przemysłowe), falowniki. Zepsute zasilacze komputerowe można pozyskać w sklepach komputerowych lub serwisach, wystarczy trochę popytać.

Montaż i uruchomienie

Proponuję zacząć montaż urządzenia od nawinięcia wszystkich potrzebnych elementów indukcyjnych. Do nawinięcia transformatora sterującego potrzebujemy drut podwójnie emaliowany DN2E0,35mm. Transformator nawijamy na rdzeniu EEL16 (jest to transformator sterujący bazami tranzystorów w zasilaczach AT lub ATX, koniecznie ten wyższy). Na tej kształtce nawijamy 4 uzwojenia, każde po 35 zwojów. Uzwojenia nawijamy parami (pierwotne z pierwotnym, wtórne z wtórnym), tak aby uzyskać liniowość transformatora. W transformatorze należy dobrze odizolować uzwojenia pierwotne od wtórnych, aby nie doszło do niebezpiecznego przebicia. Drut w podwójnej emalii bez problemu wytrzyma różnicę potencjałów rzędu 1-2kV. Transformator podłączamy do układów zgodnie z rysunkiem, bardzo ważną rolę odgrywa odpowiednie podłączenie końców i początków uzwojeń. Od dokładności wykonania transformatora zależy jakość impulsów bramkowych. Transformator można też wykonać w oparciu o rdzeń toroidalny. Pomocą w jego wykonaniu będzie **rysunek 7** oraz **fotografia 1**.

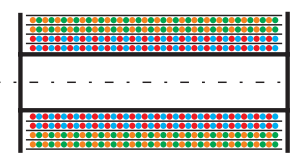
Do nawinięcia przekładnika prądowego potrzebujemy toroidalnego rdzenia ferrytowego. Przekładnik powinien posiadać 100 zwojów drutem DNE0,35. Następnie uzwojenia izolujemy taśmą teflonową, albo z wierzchu szeroką koszulką termokurczliwą. Do odpro-

For. 1 Gotowy transformator sterujący



Rys. 7 Sposób prowadzenia uzwojeń w transformatorze sterującym opartym o karkas i rdzeń EEL-16C

Kolory przy uzwojeniach odpowiadają kolorowi drutu w transformatorze



wadzeń przekładnika przylutowujemy solidny przewód ekranowany tak, aby zakłócenia generowane przez transformator nie wpływały na sygnał z przekładnika. Przez środek przekładamy kabel prądowy (uzwojenia pierwotnego Tr1) transformatora głównego. Przekładnik należy podłączyć do złącza PRZEKŁADNIK sterownika. Tutaj także ważną rolę odgrywa koniec i początek uzwojenia. W przypadku odwrotnego podłączenia przekładnika istnieje ryzyko spalenia kluczy IGBT. Jednak najczęściej objawia się to złą reakcją na regulację prądu potencjometrem, oraz głośnym jazgotem z transformatora (podczas pocierania elektrodą o materiał).

Transformator główny można nawinąć na trzy sposoby:

- cienką licą,
- grubą licą,
- taśmami miedzianymi.

1. Cienka lica składa się z 7 drutów izolowanych skręconych ze sobą. Lice można tworzyć na kilka sposobów. Można skrócić ją palcami. Ta metoda nadaje się do kilkunastocentymetrowych odcinków. Do dłuższej przydaje się wiertarka, imadło i druga osoba do pomocy. Druciki montujemy do wiertarki, uprzednio lekko skracając ich końce. Następnie wiertarkę mocujemy do imadła. Palcami chwytamy druty i rozczesujemy je na całej długości. Chwytamy za końce i naciągamy drut. Teraz należy powoli uruchomić wiertarkę i tutaj przyda się pomoc drugiej osoby. Drut powinien się pięknie skrócić na całej długości. Nie należy skręcać bardzo ciasno, ponieważ grozi to uszkodzeniem emalii.

2. Drugą metodą jest stworzenie grubej licy, składającej się z dużej ilości drucików. Do jej wykonania przydadzą się dwa imadła i dwa płaskie klucze. Imadła przykręcamy do stołu w odległości nieco większej niż wymagana długość gotowej licy. Następnie w imadła przykręcamy pionowo klucze. Do jednego z nich przykręcamy koniec drutu ze szpuli. Następnie między kluczami rozciągamy drut. Ważne jest, aby klucze były w stosunku do siebie równoległe, a naciąg był dość mocny. Kiedy przełożymy drut tyle razy ile potrzeba, koniec zawijamy i zabezpieczamy. Następnie jeden z kluczy wyjmujemy z imadła i ciągnąc mocno skręcamy. Po skręceniu, powtórnie montujemy wolny klucz w imadle, napinając całą licę. Kolejnym etapem jest owinięcie całej licy taśmą papierową malarską, lub samoprzylepną taśmą szklano-olejną. Grubą skrętkę można zaizolować także koszulką szklano-silikonową. Dzięki temu zabiegowi unikniemy zwarć międzyzwojowych.

3. W przypadku nawijania taśmą pomocny okaże się klej cyjanoakrylowy (np. SuperGlue). Należy każdy zwój zabezpieczyć kroplą kleju, aby taśma nie sprężynowała. Taśmę miedzianą nawijamy równocześnie z izolatorem.

Uzwojenie pierwotne transformatora głównego proponuję nawinąć 7xDNE0,7 ułożone płasko koło siebie. Druty należy mocno naciągać. Każdą warstwę należy przełożyć warstwą materiału izolacyjnego. W przypadku większej mocy można zwiększyć liczbę drutów. Dzięki płaskiemu nawijaniu uzwojenie pierwotne zajmie mniej miejsca w oknie transformatora. Końce i początki można zabezpieczyć klejem cyjanoakrylowym.

Uzwojenie wtórne transformatora można nawijać kilkoma sposobami. W opisywanej spawarce na rdzeniu EE65 nawinięto 9 zwojów trzema cienkimi licami, każda 7xDNE0,7. Tutaj także każdą warstwę odizolowano od siebie przy pomocy tereszpanu. Uzwojenie wtórne równie dobrze można nawinąć grubą licą, przez co można lepiej wykorzystać przestrzeń okna transformatora. Podobnie można spróbować z taśmą miedzianą. Przykładowy przekrój przez kolumnę transformatora przedstawiono na **rysunku 8**.

Wielu Czytelników zastanawia się, jak szybko odizolować tak dużą liczbę drucików. I na to jest sposób. Końce uzwojeń należy rozkręcić i rozłożyć. Następnie druty opalamy przy pomocy płomienia palnika gazowego, trzeba uważać, aby nie przypalić izolacji na zbyt długiej odległości (2-3cm wystarczy). Następnie przychodzi etap skrobienia. Druciki należy oczyścić przy pomocy twardej szczotki metalowej (najlepiej jest taka od wiertarki mocowana pionowo, bardzo sztywna i ostra), do oczyszczenia wystarczy kilkanaście ruchów ręką. Najlepiej podczas skrobienia druciki położyć na kawałku deski umocowanym w imadle. Dzięki temu zanieczyszczenia z drewna będzie łatwo usunąć z miedzi, a potem znacznie lepiej się cynuje. Po zeszkrobaniu spalenizny z powrotem skręcamy ze sobą końcówki, można z wierzchu jeszcze trochę przeczyszczyć całość szczotką. Końcówkę należy dość szybko pocynować, aby nie pokryła się warstwą chlorków podczas kontaktu naszej dłoni z miedzią. Najlepiej cynować dużą lutownicą, zanurzając rozgrzane druty w kalafonii. Drut powinien być solidnie wygrzany w kalafonii, aby usunąć warstwę tlenków i soli. Wtedy powinien się pięknie cynować.

Na końcówki uzwojenia pierwotnego proponuję zalutować wsuwki żeńskie. Umożliwi to łatwy montaż transformatora i ew. korektę kierunku przepływu prądu przez przekładnik.

ew. korektę kierunku przepływu prądu przez przekładnik.

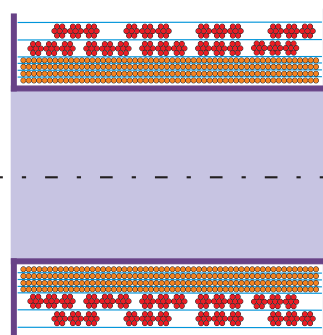
W przypadku dławika sprawa wygląda podobnie jak w transformatorze. Metod nawijania jest również kilka. W modelowej spawarce użyto grubej licy złożonej z 28 drutów DNE0,7. Szczelinę należy dobrać eksperymentalnie według wskazań miernika indukcyjności. Należy uważać na zwarcia międzyzwojowe. Podczas takiego incydentu spawarka zachowuje się „prawie” normalnie, ponieważ indukcyjność kabli daje czas na reakcję sterownika. Jednak łuk strzela i pryska. Prąd zwarciaowy jest dużo większy i praca transformatora nie jest normalna (cyka i skwierczy).

Jako przekładki międzyzwojowe można zastosować różne materiały. Najlepiej w tym zadaniu spisują się Terezspan, lub NOMEX. Terezspan to połączenie folii z preszpanem. Dzięki temu materiał ten jest odporny na wgniecenia i wysoką temperaturę. Najczęściej tereszpany posiadają atest pracy do 130°C. Występują w różnych gradacjach, są dość łatwo dostępne. Natomiast NOMEX to folia NEN pokryta obustronnie warstwą papieru NOMEX. Jest to jakby ulepszona wersja tereszpanu. NOMEX w naszym kraju jest dość trudno osiągalny, najczęściej tylko w dużych hurtowych ilościach. Jednak ma on atest pracy do 170°C. Materiał ten występuje podobnie jak tereszpan w różnych grubościach.

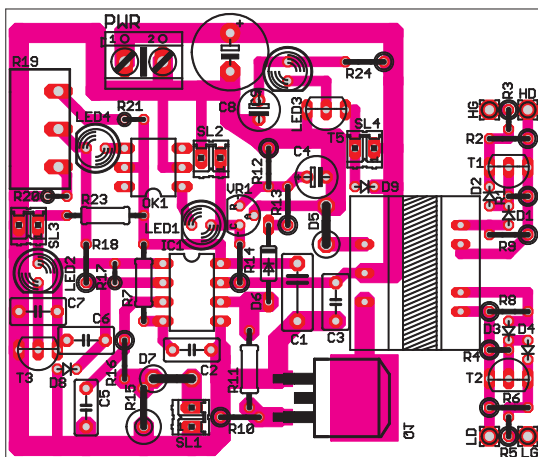
Rdzenie EE65 można łatwo dostać z karkasami, w dwóch typach, jeden prosto do druku, a drugi do druku z otworami do przykręcenia. Jednak w przypadku rdzenia EE71 i większych nie jest już tak różowo. Tutaj trzeba wykonać karkas we własnym zakresie. Niemal idealnym materiałem jest laminat przeznaczony do produkcji obwodów drukowanych. Przed rozpoczęciem prac należy usunąć z niego powłokę miedzianą, np. przy pomocy wytrawiacza drobnokrystalicznego B327, albo trójkloru żelaza. Następnie należy zwymiarować kształtkę rdzenia i przemyśleć schemat budowy. Najlepiej wszystko skleić przy pomocy spoiwa opartego o żywicę epoksydową (np. Distal). Do wstępnego montażu można użyć kleju cyjanoakrylowego. Wycinanie ramek stanowiących boki karkasu znacznie ułatwia multizłifierka z założoną tarczką cierną.

W przypadku rdzeni z okrągłą środkową kolumną, może wystąpić problem z dostępnością rurki stanowiącej podstawę karkasu. Do jej wykonania potrzebna jest żywica poliestrowa, kawałek jakiegoś walca o średnicy środkowej kolumny rdzenia, oraz zwykły cienki papier. Na rurkę nawijamy kawałek folii polietylenowej, umożliwi ona łatwe zsuniecie naszej rurki, oraz powiększy średnicę walca. Następnie nawijamy papier, uprzednio posmarowany klejem lub żywicą. Pierwsza warstwa nie powinna mieć kleju, aby można było ją łatwo zsunąć. Kolejne warstwy nawijamy dość mocno, naciągając papier, tak aby nadmiar spoiwa wypłynął z warstw. Najlepiej wszystkie

Rys. 8 Sposób nawijania i prowadzenia drutu w transformatorze głównym, tutaj Ee65



niebieski - izolator (np. tereszpan)
czerwony - uzwojenie wtórne
pomarańczowy - uzwojenie pierwotne



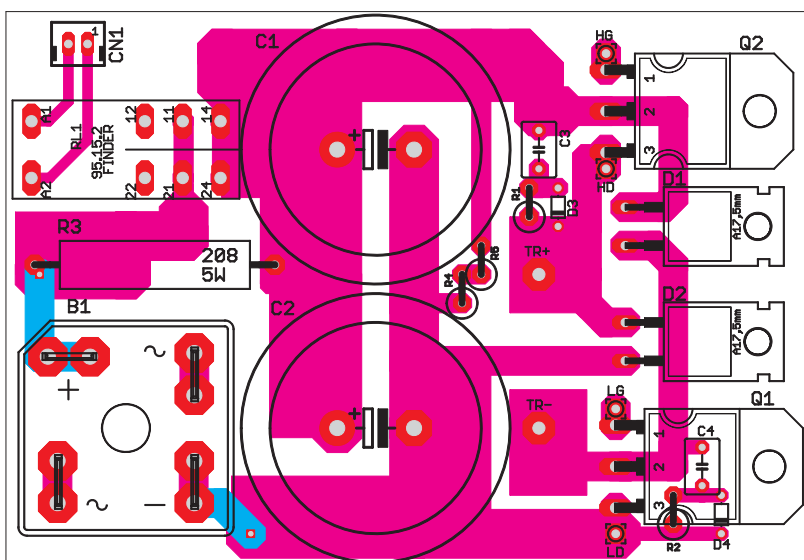
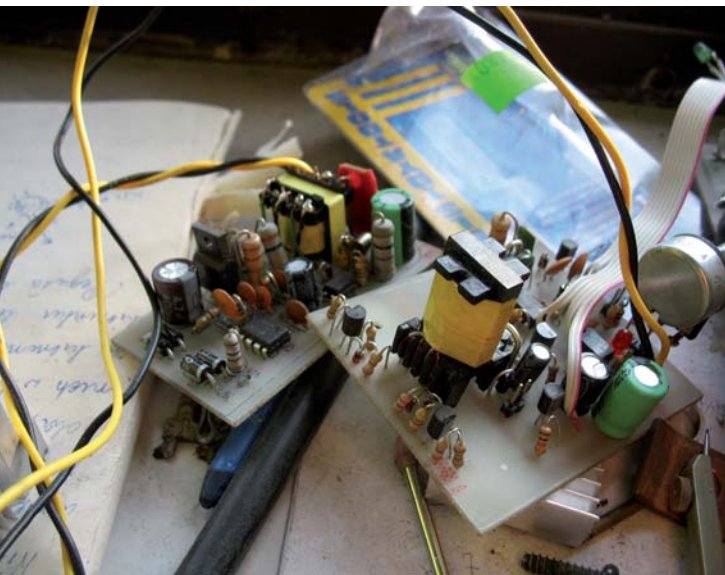
Rys. 9 Schemat montażowy sterownika

czynności robić w rękawiczkach, gdyż lepka żywica trudno usunąć z powierzchni ciała. Aby papier był mocno przesączony spoiwem, warto go trochę rozcieńczyć przy pomocy rozpuszczalnika nitro. Papier najlepiej ułożyć na płaskiej powierzchni i rozprowadzić pędzlem rzadki klej. Grubość ścianki rurki powinna wynosić około 1,5 do 2mm. Po nawinięciu należy jedną ręką przytrzymać koniec papieru, a drugą owinać całość kilka razy nitką, tak aby nasza rurka nie straciła formy. Teraz pozostaje tylko poczekać do „zasieciowania”



Fot. 2 Gotowe transformatory i dławiki

Fot. 3 Zmontowane płytki sterownika i przetwornicy pomocniczej



Rys. 10 Schemat montażowy sterownika

kleju, z reguły trwa to około 2 godzin (zależy od ilości utwardzacza). Na sam koniec wyjmujemy ze środka walec.

Wszystkie odprowadzenia najlepiej izolować koszułkami szklano-silikonowymi lub termokurczliwymi. Końcówki niezależnie od koszułki warto zabezpieczyć termokurczkami.

Fotografia 2 przedstawia dławiki i transformatory oparte o rdzenie EE65.

Montaż płytki sterownika jest klasyczny i nie wymaga komentarza. Gotowa płytka przedstawiona jest na **fotografii 3**. Jedynie trzeba zwrócić uwagę na prawidłowe podłączenie przekładnika i transformatora sterującego. Wzór płytki przedstawiono na **rysunku 9**.

Przed rozpoczęciem montażu falownika (**rysunek 10**) należy się zastanowić jaki sposób chłodzenia wybierzemy. Jeśli zamierzmy umieścić płytkę na dużym radiatorze, a tranzystory schładzać przez przekładki izolacyj-

ne, tam montaż jest klasyczny. Na sam koniec lutujemy tranzystory wraz z włożonymi na ich obudowy dociskaczami i śrubą. W przypadku zdecydowania się na radiator dzielony należy najpierw zacząć od przymocowania go do płytki. W tym wypadku elementy gasika dolnego klucza będą montowane od strony druku (**fotografia 4**). Na samym końcu montujemy kondensatory, po przykręceniu tranzystorów i diod zwrótnych. Do podłączenia transformatora polecam włutować wsuwki męskie w pola lutownicze. Jako rezystor ograniczający prąd ładowania kondensatorów warto połączyć dwa rezystory 5W równolegle, aby zwiększyć ich dopuszczalny prąd podczas udaru.

Dalsze wskazówki dotyczące montażu i uruchomienia podane zostaną za miesiąc.

Aleksander „Olinek2” Głuszek
olinek.g@neostrada.p

Fot. 4 Płytki falownika od strony druku

