

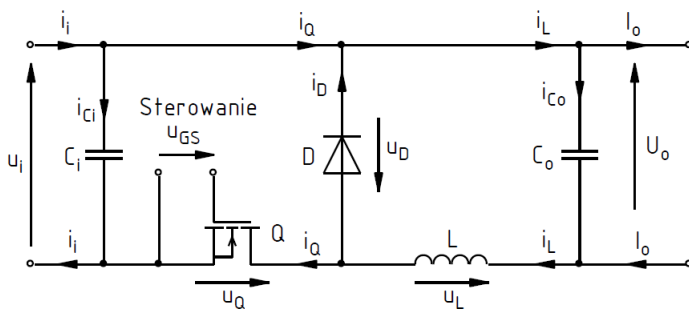
6. Kompletny układ praktyczny

6.1. Sterowanie względem niskiego potencjału

Układ z rys. 1 ma tę wadę, że potencjał końcówki źródła tranzystora Q jest zmienny w czasie na skutek przełączania diody D (rys. 3 i § 3.1). Kiedy dioda jest wyłączona, napięcie na niej u_D równe jest napięciu wejściowemu U_i (§ 3.6). Tranzystor powinien być wówczas załączony, co wymaga podania dodatniego napięcia u_{GS} , a więc wytworzenia potencjału bramki wyższego niż napięcie wejściowe. Tymczasem sterownik 555 wytwarzanie może wytworzyć na swoim wyjściu napięcia wyższego niż to, którym jest zasilany. Konieczne byłoby więc użycie dodatkowego sterownika bramkowego oferującego taką funkcjonalność.

Zastosowania kolejnego układu scalonego można jednak uniknąć przemieszczając tranzystor i dławik do linii powrotnych, na stronę niskiego potencjału (rys. 11). Z punktu widzenia teorii obwodów schemat ten jest równoważny rys. 1, bowiem na każdej gałęzi występuje identyczne napięcie, a przez każdy przekrój płynie identyczny prąd. Należy jedynie odwrócić tranzystor ze względu na przeciwny kierunek prądu w dolnych połączeniach.

Po tych zmianach źródło tranzystora jest połączone z ujemnym biegunem zasilania, co pozwala na sterowanie bramki tranzystora bezpośrednio z wyjścia generatora zasilanego względem tego samego potencjału. Rozwiązanie to nie sprawdzi się jedynie w tych zastosowaniach, w których konieczne jest połączenie masy odbiornika (rozumianej jako potencjał niski) z masą źródła. Do takich zaliczają się na przykład urządzenia, których poszczególne moduły zasilane odmiennymi napięciami muszą komunikować się między sobą.



Rys. 11. Schemat elektryczny obwodu mocy przetwornicy obniżającej napięcie ze sterowaniem tranzystora względem ujemnego bieguna źródła

6.2. Kompletna przetwornica

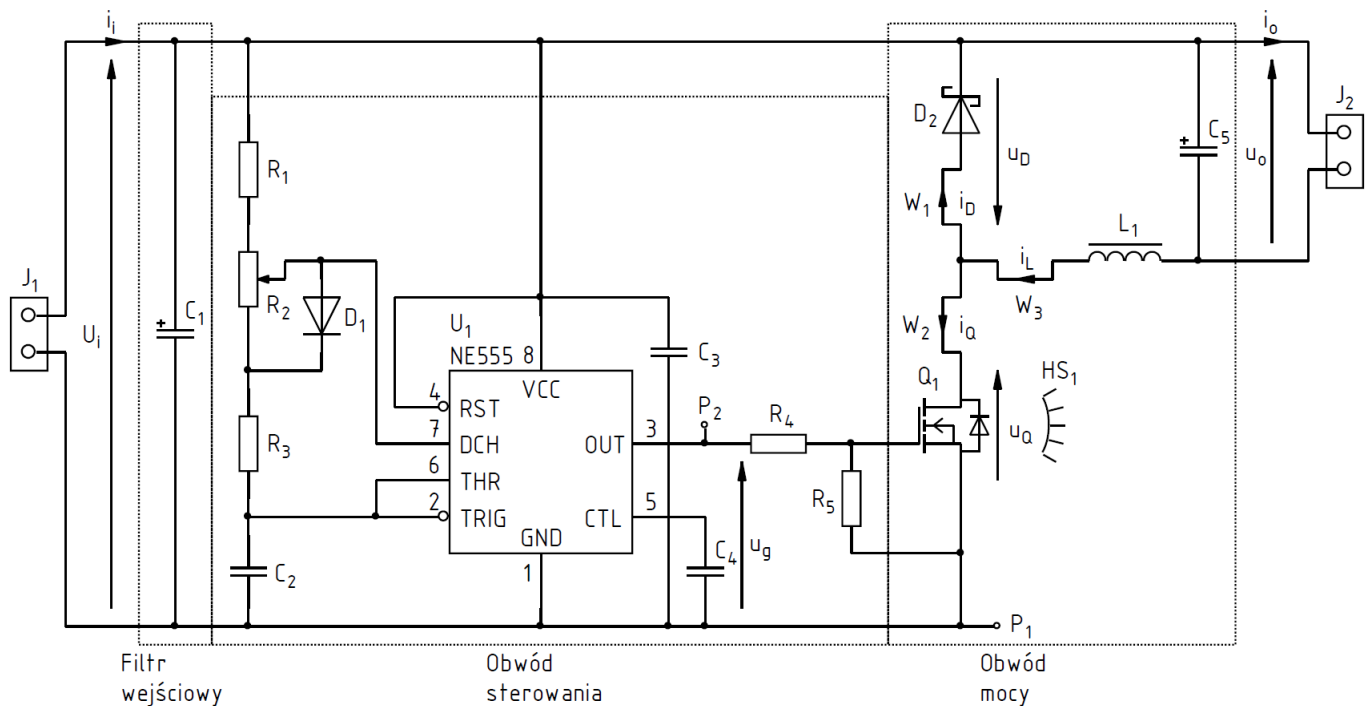
6.2.1. Budowa

Rys. 12 przedstawia układ przetwornicy w wariantcie z rys. 11 uzupełniony o obwód sterowania – generator przebiegu impulsowego oparty na układzie 555. Zawiera on ponadto elementy pomocnicze:

- poprawiające jakość działania układu – oporniki R_4 i R_5 oraz kondensatory C_3 i C_4 ;
- ułatwiające przeprowadzenie badań doświadczalnych – złącza J_1 i J_2 , punkty pomiarowe P_1 i P_2 oraz przewody pomiarowe W_1 , W_2 i W_3 ;
- radiator HS_1 , który może się okazać konieczny dla zapewnienia bezpiecznej pracy tranzystora Q_1 .

Na schemacie zastosowano ujednoliczoną numerację elementów oraz bardziej precyzyjne symbole elementów magazynujących i półprzewodnikowych, wskazujące konkretny typ użytego komponentu.

Dzięki temu, że układ 555 posiada stosunkowo wysokie napięcie dopuszczalne, a parametry jego działania są zasadniczo niezależne od napięcia, obwód ten może być zasilany bezpośrednio napięciem wejściowym U_i . Kondensator C_i stanowi w tym przypadku filtr napięcia wspólny dla obu obwodów. Ponieważ pobór mocy przez obwód sterowania będzie nieznaczny względem obciążenia i praktycznie stały w czasie, więc nie wpłynie to znacząco na obserwowany prąd wejściowy i_i .



Rys. 12. Schemat elektryczny kompletnej przetwornicy obniżającej napięcie (obwód mocy i obwód sterowania wraz z elementami pomocniczymi)

6.2.2. Obwód mocy z filtrem wejściowym

- **Kondensator wejściowy C_1** odpręga przetwornicę z źródła zasilania – minimalizuje tętnienia napięcia wynikające z impedancji połączeń, a z drugiej strony redukuje składową przemienną pobieranego prądu. Ze względu na wymaganą do tego celu dużą pojemność, użyty zostanie kondensator elektrolityczny.
- **Tranzystor MOSFET Q_1** jest sterowanym składnikiem półprzewodnikowego łącznika dwupozycyjnego. Pracuje on w konfiguracji łącznika dolnego, tj. podłączonego do niskiego potencjału. Użycie tranzystora MOSFET umożliwi uzyskanie krótkich czasów przełączania, a dzięki temu małej mocy strat dynamicznych. Układ jest niskonapięciowy, więc rezystancja odpowiedniego tranzystora w stanie załączenia może być niska, co z kolei ograniczy moc strat statycznych. Symbol użyty na schemacie wskazuje na obecność diody podłożowej w strukturze tranzystorów MOSFET mocy.
- **Dioda D_2** stanowi niesterowany składnik łącznika. Ponieważ układ jest niskonapięciowy, istotna jest minimalizacja jej napięcia przewodzenia. Osiągnięcie tego celu jest możliwe z zastosowaniem diody Schottky'ego, która posiada niskie napięcie progowe, zaś przy wymaganej wytrzymałości napięciowej (dość niskiej) i niezbyt silnym prądzie – również niski całkowity spadek potencjału. Dodatkowo przy zastosowaniu diody Schottky'ego moc strat dynamicznych będzie zaniedbywalna.
- **Kondensator wyjściowy C_5** filtruje napięcie zasilające odbiornik, redukując jego tętnienie w skali okresu przełączania przetwornicy. Zastosowany zostanie również kondensator elektrolityczny.
- **Dławik L_1** zapewnia ciągłość przepływu prądu, a jednocześnie wspomaga kondensator C_5 w filtracji napięcia wyjściowego (tworząc faktycznie filtr LC). Wobec wymaganej do tego celu dużej indukcyjności, użyty musi być element z rdzeniem magnetycznym.

6.2.3. Obwód sterowania

- **Układ scalony U_1 NE555** generuje przebieg impulsowy o pewnej częstotliwości i współczynniku wypełnienia. Współczynnik wypełnienia wynika ze stosunku stałych rezystancji oporników R_1 i R_3 oraz zmiennej rezystancji potencjometru R_2 . Dioda D_1 pozwala uniezależnić od nastawy R_2 częstotliwość, która wobec tego wynika z pojemności kondensatora C_2 . Ze względu na wymaganą wysoką stabilność pojemności (np. w funkcji temperatury), użyty zostanie kondensator w technologii monolitycznej.

Układ U_1 pełni także rolę sterownika bramki tranzystora Q_1 . Przez jego końcówkę OUT przepływa prąd ładowania bramki podczas załączania i rozładowania podczas wyłączenia. Wykorzystana wersja układu 555, dzięki bipolarnej konstrukcji, posiada wystarczającą do tego celu obciążalność prądową.

- **Kondensatory C_3 i C_4** odpręgają układ NE555, tj. redukują oddziaływanie zewnętrzne na jego pracę. Chodzi głównie o filtrację zaburzeń wysokiej częstotliwości powstających w obwodzie mocy w wyniku przełączania tranzystora i propagujących się poprzez pasożytnicze elementy R, L i C. Kondensator C_3

filtruje napięcie zasilania (końcówka VCC) i stanowi lokalny magazyn ładunku dla bramki tranzystora, zaś C_4 – filtruje wewnętrzne napięcie odniesienia (końcówka CTL). Ze względu na niską potrzebną pojemność i wymaganą niską indukcyjność pasozytniczą, a jednocześnie dopuszczalną szeroką tolerancję, użyte zostaną kondensatory w klasycznej technologii ceramicznej.

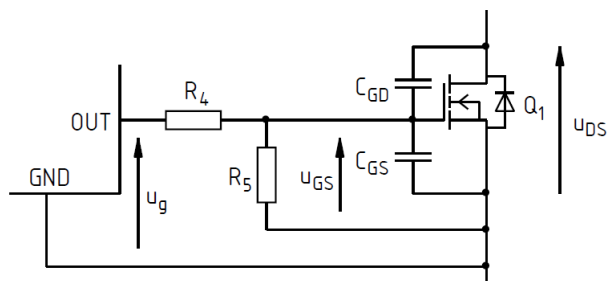
- **Opornik R_4** ustala wartość prądu bramki tak, by nie przekroczył on wartości dopuszczalnej dla końcówki OUT układu U_1 . Powoduje to zmniejszenie szybkości przełączania tranzystora i tym samym zwiększenie mocy strat dynamicznych. Z tego powodu wartość R_4 powinna być możliwie mała. W najgorszej chwili, tj. kiedy bramka jest rozładowana ($U_{GS} = 0$), a w celu załączenia tranzystora na wyjściu OUT wystawiane jest napięcie zasilania U_i , prąd ten równy jest ilorazowi U_i i R_4 (rys. 13).

Średnia moc strat w oporniku R_4 jest niewielka, gdyż przepływ prądu przez ten element jest ograniczony w czasie do przełączania tranzystora. Zwykle jednak należy go pod tym względem przewymiarować, gdyż przez ten krótki czas płynie przez niego silny prąd (typowo rzędu kilku amperów). Takie okresowe impulsy mogłyby doprowadzić do uszkodzenia, gdyż oporniki ogólnego przeznaczenia są testowane (według normy IEC 60115) na przetężenia okresowe o amplitudzie równej zaledwie ok. 4-krotności prądu odpowiadającego mocy znamionowej. W przypadku standardowych oporników – o mocy 0,125 W albo 0,063 W – wartość ta będzie prawdopodobnie niewystarczająca.

- **Opornik R_5** zapobiega zakłócaniu pracy tranzystora Q_1 przez zaburzenia przenoszone z obwodu mocy poprzez jego pojemność pasozytniczą C_{GD} (rys. 13). Mogłyby one doprowadzić do niepożądanego załączenia bądź wyłączenia na skutek przepięcia bądź zapadu potencjału bramki względem potencjału źródła. Dodatkowy ładunek (związany z zaburzeniami) przepływający przez pojemność C_{GD} , zamiast doładować pojemność C_{GS} i tym samym zwiększyć napięcie u_{GS} , zostaje odprowadzony do źródła przez opornik R_5 . Warunkiem tego jest, by impedancja opornika była niższa od impedancji pojemności C_{GS} .

Drugim zadaniem opornika R_5 jest zapobieżenie niepożądanemu załączeniu tranzystora Q_1 , gdyby obwód drenu został zasilony przy braku sterowania bramki (np. wskutek uszkodzenia sterownika czy przerwania ciągłości obwodu). W takim wypadku wysokie napięcie u_{DS} uległoby podziałowi na dzielniku tworzonym przez pojemności pasozytnicze C_{GD} i C_{GS} . Wynikające stąd napięcie u_{GS} mogłoby załączyć tranzystor, co z kolei mogłoby doprowadzić do jego uszkodzenia w wyniku wydzielania ciepła. Natomiast obecność opornika R_5 nie pozwala na naładowanie pojemności C_{GS} .

Obecność opornika R_5 ma skutek uboczny w postaci zmniejszenia amplitudy napięcia bramka-źródło u_{GS} , jako że napięcie generatora u_g ulega podziałowi na dzielniku R_4, R_5 . Dodatkowo przez wyjście sterownika w stanie wysokim będzie stałe płynąć prąd o wartości $u_g / (R_4 + R_5)$. Rezystancja R_5 nie powinna być więc przesadnie mała; typowo przyjmuje się $R_5 \approx 1000 R_4$.



Rys. 13. Obwód bramki tranzystora z uwzględnieniem pojemności pasozytniczych

6.2.4. Elementy ułatwiające pomiary układu

- **Złącza J_1 i J_2** w postaci listew zaciskowych pozwolą na przyłączenie odpowiednio zasilacza jako źródła napięcia wejściowego U_i oraz odbiornika w postaci zestawu oporników mocy.
- **Punkty pomiarowe P_1 i P_2** , które mogą być zrealizowane np. w fragmencie przewodu ze zdjętą izolacją, umożliwią przyłączenie sond napięciowych oscyloskopu: P_1 – końcówek odniesienia wszystkich sond, P_2 – końcówki gorącej do pomiaru napięcia sterującego u_g .
- **Przewody pomiarowe W_1, W_2 i W_3** symbolizują izolowane fragmenty przewodów, które zostaną wyprowadzone poza płytkę (w postaci krótkiej pętli), co umożliwi zaciśnięcie wokół nich sondy prądowej w celu pomiaru prądów elementów: i_D, i_Q i i_L .

6.3. Wykaz elementów

Kompletne zestawienie elementów niezbędnych do konstrukcji układu przetwornicy obniżającej napięcie według rys. 14 zawiera tab. 1. Można w niej znaleźć:

- oznaczenie elementu zgodne z rys. 12 i 14,

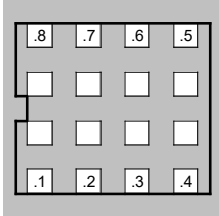

- rodzaj elementu,
- typ, wartość lub inne parametry (\ominus oznacza wartość do obliczenia na podstawie indywidualnych założeń projektowych),
- rodzaj, oznaczenie lub parametry obudowy (\varnothing oznacza średnicę obudowy walcowej, R oznacza raster tj. rozstaw wyprowadzeń, wymiary podano w milimetrach),
- szkic obrysu obudowy i domyślnego rozmieszczenia nóżek na płytce uniwersalnej UM-8 o rastrze $r = 2,5$ mm (białe kwadraty oznaczają otwory i pola lutownicze; w przypadku możliwych obudów szkic przedstawia największą z nich),
- rozstaw wyprowadzeń w wielokrotnościach rastra płytki UM-8 (minimalny i maksymalny jeżeli istnieje możliwość zagięcia lub odcięcia wyprowadzeń; liczba w nawiasie oznacza wartość absolutnie minimalną).

Niektóre elementy mogą być montowane na różne sposoby, zajmując mniejszy lub większy obszar na płytce, a z drugiej strony łącząc mniej lub bardziej oddalone od siebie punkty lutownicze.

Tab. 1. Wykaz elementów

Oznaczenie	Rodzaj	Numer Wartość Parametry	Obudowa	Obrys obudowy na płytce UM-8	Rozstaw wyprowadzeń
C ₁	Kondensator elektrolityczny aluminiowy	$\ominus \mu\text{F}$, $\ominus \text{V}$, $\ominus \text{mA}$, 105 °C	pionowa walcowa min. $\varnothing 5$, R 2,0 max. $\varnothing 10$, R 5,0		1r..10r
C ₂	Kondensator ceramiczny monolityczny	$\ominus \mu\text{F}$, 50 V			(1r) 2r..10r
C ₃	Kondensator ceramiczny płytkowy	100 nF, 50 V			1r..8r
C ₄	Kondensator ceramiczny płytkowy	10 nF, 50 V	jak C ₃		
C ₅	Kondensator elektrolityczny aluminiowy	$\ominus \mu\text{F}$, $\ominus \text{V}$, $\ominus \text{mA}$, 105 °C	pionowa walcowa min. $\varnothing 5$, R 2,0 max. $\varnothing 8$, R 3,5		1r..10r
D ₁	Dioda przełączająca sygnałowa szybka	1N4148 200 mA, 100 V, 8 ns	DO-35 montaż poziomy		4r..18r
			montaż pionowy		1r..4r
D ₂	Dioda mocy Schottky'ego	\ominus $\ominus \text{A}$, $\ominus \text{V}$, < 100 ns	min. DO-41, max. DO-15 montaż poziomy		(4r) 5r..18r
			montaż pionowy		1r..4r

Oznaczenie	Rodzaj	Numer Wartość Parametry	Obudowa	Obrys obudowy na płytce UM-8	Rozstaw wypro-wadzeń
HS ₁	Radiator prasowany		U-kształtna, do TO-220, max. 13,3×9,6		n.d.
J ₁ J ₂	Listwa zaciskowa	2 tory	o poziomej orientacji przewodów; R 5,0		2r
L ₁	Dławik mocy	⊖ μH, ⊖ A	pionowa walcowa min. ∅ 7,5, R 3,0 max. ∅ 12,5, R 7,0		(1r) 2r..10r
P ₁ P ₂	Punkt pomiarowy				n.d.
Q ₁	Tranzystor MOSFET mocy	⊖ ⊖ A, ⊖ V	TO-220 ^{1,2}		2 × (1r..3r) ³
R ₁	Opornik węglowy	⊖ Ω, (0,125..0,6) W	montaż poziomy		5r..20r
			montaż pionowy		1r..4r
R ₂	Potencjometr osiowy	⊖ Ω, liniowy	montaż do płytki ²		2 × 2r
			lokalizacja poza płytką		n.d.
				<i>przyłączenie do płytki 3 osobnymi przewodami</i>	

Oznaczenie	Rodzaj	Numer Wartość Parametry	Obudowa	Obrys obudowy na płytce UM-8	Rozstaw wyprowadzeń
R ₃	Opornik węglowy	⊖ Ω, (0,125..0,6) W	jak R ₁		
R ₄	Opornik węglowy	⊖ Ω, (0,5..1) W	jak R ₁		
R ₅	Opornik węglowy	(10..100) kΩ, (0,125..0,6) W	jak R ₁		
U ₁	Układ scalony – czasomierz	NE555	DIP-8	<i>mocowanie w podstawie</i>	
	Podstawka do układu scalonego		DIP-8		w osi x 3 × 1r w osi y 3r
W ₁ W ₂ W ₃	Przewód pomiarowy		długość zależnie od strony montażu i rozstawu punktów krajńcowych		dowolny ⁴

¹ Obudowa o standardowych wymiarach, tj. z wyłączeniem obudowy poszerzonej (oznaczenie z przyrostkiem W) oraz obudów o innej niż 3 liczbie wyprowadzeń (oznaczenie z przyrostkiem liczbowym innym niż 3).

² Obrys zewnętrzny odpowiada korpusowi obudowy, który znajduje się na wysokości min. 4 mm nad płytką. Na powierzchni płytki za zajęty można uznać obszar odpowiadający obrysowi wewnętrznemu.

³ Każde wyprowadzenie można odgiąć do przodu lub do tyłu maksymalnie o 2r; wyprowadzenia G i S można odgiąć na bok maksymalnie o 2r.

⁴ Przy minimalnej odległości 16 mm ≈ 7r sonda prądowa będzie się mieścić między punktami montażu końców przewodu, który będzie miał wówczas kształt litery Π (przy takim rozstawie zalecana długość przewodu: 50 mm, przy rozstawie większym: rozstaw + 35 mm). Przewód może jednak również tworzyć pętlę w kształcie litery Ω szerszą niż odstęp między punktami montażowymi, który może być wówczas dowolnie mały (przy rozstawie 1r zalecana długość przewodu: 70 mm).

7. Projektowanie obwodu drukowanego

7.1. Uwzględnienie rzeczywistego charakteru połączeń elektrycznych

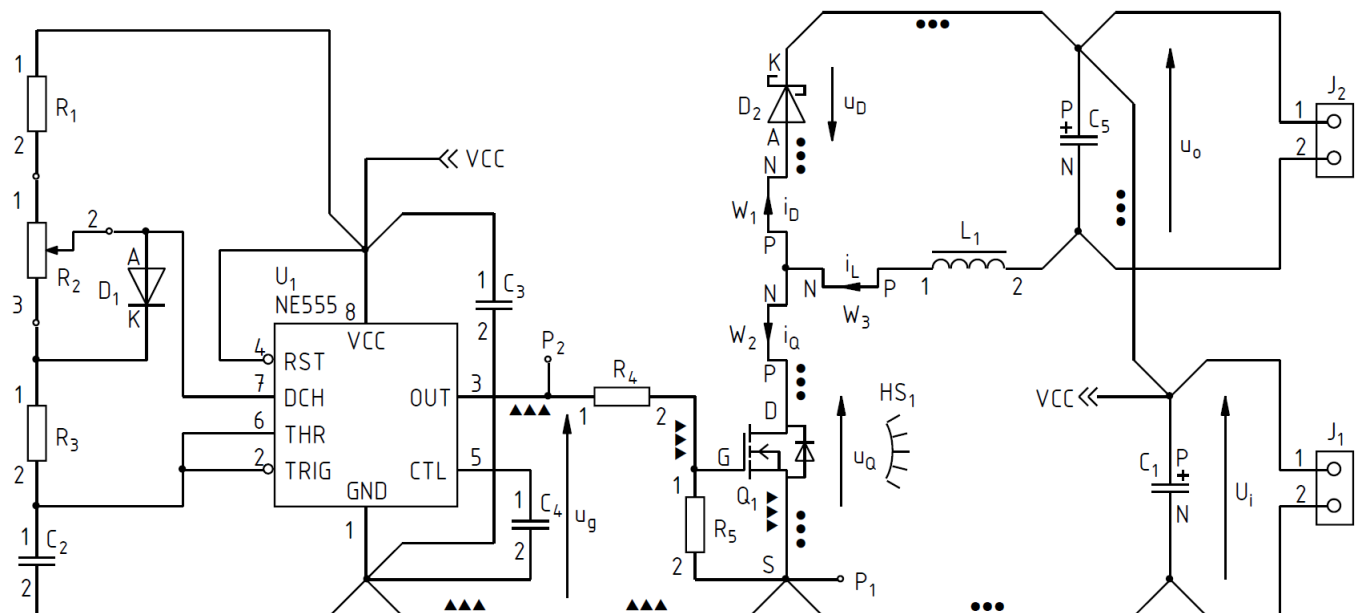
7.1.1. Źródła i propagacja zaburzeń

Rys. 14 przedstawia schemat elektrycznie równoważny temu z rys. 12, ale przerysowany w inny sposób. W szczególności wejście układu (kondensator C_1) zostało przeniesione bliżej pozostałych elementów obwodu mocy. Jego połączenie z obwodem sterowania symbolizuje etykieta VCC. Taka postać ułatwi teraz analizę wymagań wynikających z rzeczywistego charakteru obwodu.

Każda ścieżka, przewód, a nawet wyprowadzenie elementu posiada pewną rezystancję i indukcyjność. Impulsowe, szybko zmienne prądy tranzystora i diody będą odkładać na tych elementach pasożytniczych napięcia stanowiące zaburzenia w obwodzie. Te zaś będą się przenosić i zakłócać pracę:

- źródła i odbiornika – poprzez pasożytnicze rezystancje i indukcyjności doprowadzeń do kondensatorów C_1 i C_5 , a które stanowią część wspólną obwodów, które kondensatory te powinny od siebie odprzęgać;
- oraz obwodu sterowania – poprzez pojemność pasożytniczą C_{GD} tranzystora Q_1 oraz bezpośrednie sprzężenie obu obwodów poprzez wspólny odcinek przy tranzystorze.

Źródłem zaburzeń będzie też sam obwód bramki tranzystora – w którym również płynąć będzie impulsowy prąd o dużej amplitudzie i stromościach.



Rys. 14. Schemat półfizyczny połączeń w układzie z zaznaczeniem krytycznych pętli prądowych

7.1.2. Wymagania dotyczące topologii obwodu drukowanego

Na pojemność tranzystora projektant nie ma wpływu – poza możliwością zamiany wybranego elementu na inny. Natomiast wartości pasożytniczych elementów R i L rosną wraz z długością połączeń i maleją z ich przekrojem (w przypadku rezystancji – proporcjonalnie), a te parametry wynikają z topologii (tj. geometrycznego układu na płaszczyźnie) obwodu drukowanego.

Rys. 12 odzwierciedla wprawdzie połączenia elektryczne między elementami, jednak nie może być traktowany jako ilustracja geometrycznego rozłożenia tych elementów na płaszczyźnie płytki drukowanej. W celu skrócenia połączeń kluczowych z punktu widzenia powstawania i przenoszenia się zaburzeń, konieczne jest przestrzeganie następujących wytycznych, z których większość została symbolicznie zobrazowana na rys. 14.

1. Jak najbardziej skróć pętle, w których płyną prądy o dużej wartości i stromościach (a więc o przebiegu impulsowym):
 - w obwodzie mocy – prąd drenu tranzystora i_Q i prąd diody i_D (na rys. 14 pętla zaznaczona •••, z kondensatorem C_1 zlokalizowanym blisko innych połączonych z nim elementów tej pętli),
 - w obwodzie sterowania – prąd bramki tranzystora (pętla zaznaczona ▲▲▲).

Unikaj wprowadzania do tych pętli dodatkowych przewodów (oprócz pomiarowych W_1 do W_3), gdyż wprowadziłyby one dodatkową, znaczną impedancję.

Ogranicz to już samą generację zaburzeń u ich źródła.

Nie ma natomiast znaczenia długość połączeń w gałęzi zawierającej dławik L_1 , gdyż element ten sam w sobie stanowi indukcyjność o kilka rzędów wielkości większą niż indukcyjności pasożytnicze. Skutki obecności dławika w obwodzie ma za zadanie ograniczać dioda D_2 na zasadzie opisanej w § 7.1.3.

2. Jak najbardziej skróć wspólny odcinek obu powyższych pętli przy końcówce S tranzystora Q_1 . W ideale pętle te powinny łączyć się tylko w jednym punkcie, którym powinna być właśnie ta końcówka – na rys. 14 symbolizują to linie ukośne zbiegające się z dwóch stron do wyprowadzenia tranzystora.

Ogranicz to przenoszenie się zaburzeń między obwodami (przy czym znaczenie praktyczne ma kierunek z obwodu mocy do obwodu sterowania).

3. Włącz opornik R_5 jak najbliżej końcówek G i S tranzystora Q_1 .

W przeciwnym razie impedancja doprowadzeń może być większa od impedancji pojemności C_{GS} tranzystora Q_1 , co sprawi, że warunek prawidłowego działania opornika R_5 (§ 6.2.3) przestanie być spełniony. Trzeba mieć na uwadze, że chodzi tu o częstotliwość równoważną szybkozmiennych zaburzeń, a więc wysoką (typowo rzędu 100 MHz). Dla takiej częstotliwości f_{dist} impedancja pojemności $(2\pi f_{dist} C_{GS})^{-1}$ jest niewielka, podczas gdy impedancja $2\pi f_{dist} L_s$ związana z indukcyjnością pasożytniczą L_s jest znaczna nawet przy stosunkowo małej indukcyjności.

4. Zminimalizuj długości doprowadzeń do kondensatorów C_1 i C_5 . Element te powinny być włączone w ścieżki drukowane zlokalizowane bezpośrednio pod nimi – tak aby wyprowadzenia z ich obudów można było maksymalnie skrócić.

W przeciwnym razie zmienne w czasie prądy odłożą na impedancjach tych doprowadzeń napięcia, które będą widziane również przez obwód odprężany po drugiej stronie kondensatora.

5. Włącz kondensatory C_1 i C_5 faktycznie (tj. geometrycznie) między odprężane obwody, czyli między obwód mocy przetwornicy a odpowiednio złącze J_1 albo J_2 . Oznacza to, że połączenia przychodzące od strony obwodu mocy nie mogą mieć części wspólnej z połączeniami wychodzącymi do złącz – na rys. 14 symbolizują to linie ukośne zbiegające się z dwóch stron do wyprowadzeń kondensatora.

W przeciwnym razie takie odcinki wspólne stworzą dodatkową impedancję, która oddziaływać będzie na układ w sposób opisany w pkt. 4.

6. Umieść kondensatory C_3 i C_4 jak najbliżej odpowiednich wyprowadzeń układu U_1 .

Użycie dodatkowych przewodów jest w tym przypadku wykluczone, gdyż wprowadziłyby one (dla wysokich częstotliwości) impedancję większą od impedancji samego kondensatora, a taki element LC przestałby stanowić filtr napięcia.

7. Połączenia pozostałych elementów obwodu sterowania z zasilaniem (wyprowadzenia VCC i GND układu U_1) również realizuj (w miarę możliwości) do zacisków kondensatora C_3 – na rys. 14 symbolizują to linie ukośne zbiegające się do końcówek VCC i GND.

W każdym razie włącz te elementy faktycznie (geometrycznie) za kondensatorem C_3 względem kondensatora C_1 – tj. nie włączaj żadnych elementów w połączenie VCC z kondensatorem C_1 ani w połączenie końcówki GND układu U_1 z tranzystorem Q_1 . Ponieważ te dwa połączenia wiążą obwód sterowania z generującym zaburzenia obwodem mocy, a dodatkowo w połączeniu GND płynie prąd bramki tranzystora, nie mogą mieć one części wspólnej z resztą obwodu.

W przeciwnym razie kondensator C_3 nie będzie stanowił filtru napięcia dla tych elementów, a ich działanie będzie zakłócać przez obwód mocy lub prąd bramki.

7.1.3. Bezpieczeństwo napięciowe tranzystora

Indukcyjności pasożytnicze zwiększają także ryzyko przekroczenia dopuszczalnego napięcia dren-źródło tranzystora Q_1 . Podczas wyłączenia tego elementu, na połączeniach końcówek S i D indukować się mogą bowiem znaczne napięcia, proporcjonalne do stromości opadania prądu (zgodnie z równaniem cewki). Dodają się one do napięcia zasilania U_i i mogą osiągać ten sam rząd wielkości.

Teoretycznie w układzie przetwornicy obniżającej napięcie dioda D_2 nie pozwala na to, by napięcie u_Q przekroczyło napięcie U_i , bowiem w takiej sytuacji element ten przechodzi w stan przewodzenia z niskim spadkiem potencjału, praktycznie zwierając dren tranzystora do dodatniej końcówki kondensatora C_1 . Niemniej osiągnięcie tego efektu wymaga, by załączanie diody było szybsze niż wyłączenie tranzystora.

Znalezienie diody o odpowiednio krótkim czasie załączania samego przyrzędu zwykle nie jest trudne. Jednak w rzeczywistym układzie czas ten będzie ograniczony przez szybkość narastania prądu, ta zaś – przez indukcyjności

pasożytnicze obecne w gałęzi z diodą D_2 . Zanim dioda załączy się, na tranzystorze może pojawić się przepięcie przekraczające jego wytrzymałość napięciową, co doprowadzi do jego uszkodzenia.

Minimalizacja długości pętli obwodu mocy (●●●) pozwala więc również zapewnić bezpieczną pracę tranzystora Q_1 poprzez zmniejszenie amplitudy przepięć generowanych na jego połączeniach oraz przez zwiększenie skuteczności gaszenia tych przepięć przez diodę D_2 .

7.2. Obwód drukowany

7.2.1. Przekrój przewodników

Pasożytnicze impedancje połączeń należy minimalizować również poprzez stosowanie przewodników (ścieżek drukowanych i przewodów) o odpowiednio dużym przekroju. Pozwala to osiągnąć:

- 1) ograniczenie generacji zaburzeń,
- 2) ograniczenie propagacji zaburzeń,
- 3) poprawę skuteczności kondensatorów jako filtrów napięcia,
- 4) zmniejszenie spadków potencjału na połączeniach,
- 5) redukcję strat mocy w połączeniach i tym samym zwiększenie sprawności układu.

Z drugiej strony przekrój przewodnika określa także jego obciążalność prądową, która wynika z maksymalnej dopuszczalnej temperatury laminatu bądź izolacji. W obwodach energoelektronicznych może się jednak okazać, iż wymaganie to jest mniej ograniczające niż aspekty wyliczone wyżej.

W przypadku ścieżek drukowanych, ich minimalną szerokość wyznacza się z kryterium maksymalnego dopuszczanego przyrostu temperatury ΔT i maksymalnej dopuszczalnej mocy strat (a więc rezystancji). Do tego celu dostępne są w sieci liczne kalkulatory. Typowo dopuszcza się ΔT_t między 10 °C a 40 °C . Przy wyborze tej wartości należy uwzględnić temperaturę otoczenia T_a , do której doda się ten przyrost (§ 4.7.1).

Trzeba być świadomym, że temperaturę ścieżki ($T_a + \Delta T_t$) ogranicza nie tylko wytrzymałość laminatu (zwykle powyżej 100 °C), ale także fakt, iż nagrzana ścieżka podwyższy temperaturę pracy przyłączonych do niej elementów elektronicznych. Z tego drugiego powodu założenie $\Delta T_t = 10\text{ °C}$, choć początkowo może wydawać się zbyt ostrożne, jest całkiem rozsądne. Wartość $\Delta T_t = 40\text{ °C}$ odpowiada natomiast osiągnięciu granicy wytrzymałości laminatu (100 °C) przy typowej maksymalnej temperaturze otoczenia 60 °C .

Przekrój ścieżki drukowanej można regulować także poprzez jej grubość. Wykonanie obwodu z użyciem grubszej warstwy przewodzącej pozwala na proporcjonalne (w przybliżeniu) zmniejszenie szerokości ścieżek, a przez to rozmiaru płytki. Z tego powodu obwody mocy często wykonuje się z na laminatach o grubości miedzi $35\text{ }\mu\text{m}$ i $70\text{ }\mu\text{m}$ (podczas gdy dla obwodów sygnałowych standardowa grubość to $18\text{ }\mu\text{m}$).

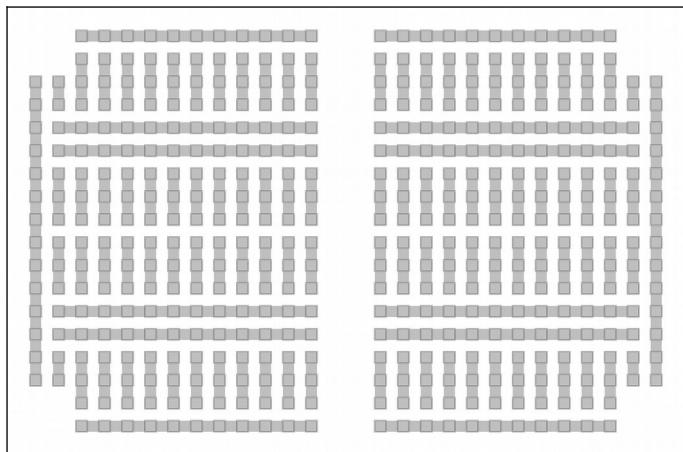
Jako że straty mocy w przewodnikach wynikają z prawa Joule'a, we wszelkich obliczeniach z nimi związanych należy używać wartości skutecznej prądu.

7.2.2. Płytki uniwersalna

Do konstrukcji układu może zostać wykorzystana płytka uniwersalna UM-8 (rys. 15). Raster płytki wynosi $2,5\text{ mm}$, zaś jej wymiary to $70\text{ mm} \times 50\text{ mm}$.

W przypadku użycia płytki uniwersalnej, montaż układu będzie łatwiejszy i szybszy, gdy (przy zachowaniu wymagań dotyczących długości połączeń):

- przede wszystkim wykorzystane zostaną ścieżki wytworzone fabrycznie;
- liczba dodatkowych przewodów połączeniowych będzie jak najmniejsza;
- liczba połączeń sąsiednich ścieżek do wykonania za pomocą lutowni nie będzie większa niż kilka do kilkunastu (płytki jest bowiem pokryta warstwą maskującą przeciwdziałającą tworzeniu takich połączeń), albo też zaplanowane połączenia będą mogły zostać zrealizowane przez zagięcie wyprowadzenia najbliższego elementu.



Rys. 15. Uproszczony rysunek układu pól lutowniczych i ścieżek przewodzących na płytce UM-8

7.3. Ograniczenia fizyczne

Przy planowaniu ułożenia elementów trzeba też uwzględnić istnienie praktycznych ograniczeń natury fizycznej.

1. Złącza J_1 i J_2 muszą być zlokalizowane i zorientowane tak, by możliwe było doprowadzenie do nich przewodów łączących zasilacz i odbiornik. Najlepiej więc umieścić je blisko brzegów płytki. Wejście przewodów powinno być zwrócone na zewnątrz płytki i nie mogą go blokować inne elementy.
2. Przewody pomiarowe W_1 do W_3 powinny umożliwiać przyłączenie sondy prądowej. Ze względu na stosunkowo duże gabaryty sondy, korzystne może być zaplanowanie tych przewodów od spodu płytki (po stronie druku, a nie elementów). Pozwoli to na dużą dowolność w lokalizacji ich końcówek, bez ograniczeń wprowadzanych przez pozostałe elementy. Same przewody nie muszą mieścić się w obrysie płytki.
3. Musi być możliwe zamontowanie radiatora HS_1 do tranzystora Q_1 . Ewentualny radiator będzie mocowany do podstawy tranzystora, przy czym wzajemna orientacja obu elementów będzie zgodna z pokazaną w tab. 1. Sam radiator nie musi mieścić się w obrysie płytki.
4. Jeżeli potencjometr ma być mocowany do płytki, musi być zapewniony dostęp do jego osi. Najlepiej jest więc umieścić go na brzegu i zorientować oś na zewnątrz.