

## Przekształtniki elektroniczne

### Moduł D – Uruchamianie, testowanie i pomiary

do wytycznych projektowych ver. 1.4.0

opracował: Łukasz Starzak

Politechnika Łódzka, Katedra Mikroelektroniki i Technik Informatycznych

### Uruchomienie

Sugeruje się przeprowadzić je w kolejności podanej niżej. Nawet jeżeli punkt 1 został już wykonany, to warto go powtórzyć bezpośrednio przed pierwszym testem obwodu mocy z dławikiem.

Układ należy uruchamiać z zasilacza o wydajności wystarczającej dla najgorszych warunków pracy (z zasilacza pobierany będzie oczywiście prąd wejściowy przetwornicy) oraz z uwzględnieniem braku układu łagodnego rozruchu, co prowadzi do przetężenia przy załączeniu zasilania.

Zasilacze 2-sekcyjne mają wydajność 3 A na sekcję; wyjścia sekcji można połączyć równolegle uzyskując wydajność 6 A; w tym celu należy: 1° połączyć styki – z – oraz + z +; 2° odpowiednio wcisnąć przyciski pośrodku panelu.

W razie niewystarczającej wydajności powyższych zasilaczy, w laboratorium są także dostępne:

– zasilacz 60 V, 10 A – DF1760SL10A,

– zasilacz 30 V, 20 A – DF1730SL,

– zasilacz 36 V, 30 A – PSH-3630A (proszę go nie używać bez wysłuchania instrukcji ze strony prowadzącego oraz sprawdzenia przez niego ustawień).

Wyjście przetwornicy podwyższającej pracującej bez sprzężenia zwrotnego musi być zawsze obciążone na tyle, by układ pracował w trybie CCM (zgodnie z obliczeniami, powinien wystarczyć do tego minimalny zakładany prąd obciążenia). Niedostateczny odbiór ładunku z kondensatora wyjściowego (dostarczanego przez prąd dławika, którego składowa przemienna jest narzucona przez napięcie wejściowe i współczynnik wypełnienia) doprowadziłby bowiem do wzrostu napięcia wyjściowego ponad wartość przewidzianą wzorem dla trybu CCM (jak wiadomo, w trybie DCM funkcja przetwarzania napięcia ulega modyfikacji). Grozi to uszkodzeniem elementów układu.

Jako odbiornik można wykorzystać: duży opornik regulowany (zwrócić uwagę na jego prąd maksymalny), średniej wielkości rurowy opornik mocy (zwrócić uwagę na jego moc maksymalną podaną na korpusie) lub mały opornik mocy w metalowej obudowie 50 W (ta moc obowiązuje jednak wyłącznie z odpowiednim radiatorem! – opornik bez radiatora wytrzyma ok. 20 W). Jeżeli moc znamionowa jest za mała, można połączyć kilka oporników równolegle. Oczywiście można również łączyć oporniki równolegle i szeregowo w celu uzyskania pożądanej rezystancji (dokładność prądu 10% będzie wystarczająca). Po zakończeniu pomiarów oporniki należy odłożyć tam, skąd zostały wzięte. Można również skorzystać z obciążenia elektronicznego (posiada ono 2 niezależne sekcje) – jednak wyłącznie po wysłuchaniu instrukcji prowadzącego i pod jego każdorazowym nadzorem.

1. Przed wlutowaniem dławika – tak aby wejście obwodu mocy było rozłączone – podłączyć układ do zasilacza z sensownie ustawionym ograniczeniem prądowym (z kart katalogowych układów scalonych wynika, jakiego rzędu prąd pobierają) i stopniowo zwiększać napięcie patrząc, czy z zasilacza nie zaczyna płynąć niepokojąco duży prąd.

Sprawdzić woltomierzem, czy stabilizator liniowy stabilizuje napięcie – zmieniając napięcie wejściowe w założonych granicach. Sprawdzić, czy tranzystor jest wysterowany przebiegiem prostokątnym o założonej amplitudzie (mniej więcej), częstotliwości i zakresie

współczynnika wypełnienia (sprawdzamy to na nóżce bramki tranzystora).

2. Ustawić minimalny (zakładany) współczynnik wypełnienia. Zasilacz wyłączyć przy odpowiadającym temu współczynnikowi napięciu wejściowym (nie sprowadzać go do zera). Przy napięciu bliskim zeru, wejście przetwornicy podwyższającej, tj. dławik z tranzystorem o niskiej rezystancji, może zostać zinterpretowane przez zasilacz jako zwarcie (małe napięcie przy dużym prądzie), co doprowadzi do aktywacji zabezpieczenia nadprądowego, które ograniczy napięcie, nie pozwalając na jego zwiększenie. Dlatego ten układ należy uruchamiać podając napięcie wejściowe skokowo.

Włutować dławik. Na wyjście przyłączyć opornik o odpowiedniej wartości lub odpowiednio nastawione obciążenie elektroniczne, tak by przy nominalnym napięciu wyjściowym uzyskać minimalny zakładany prąd wyjściowy (tj. mniejszy od nominalnego). Obliczyć spodziewany prąd wejściowy dla tego prądu wyjściowego (o ile nie był obliczony na etapie projektowania).

Przyłączyć sondę napięciową oscyloskopu między dren a źródło tranzystora. Sondy nie należy przyłączać do samej nóżki tranzystora (ani do wbudowanego radiatora), gdyż spowoduje to stopienie się materiału końcówki w wyniku oddziaływania temperatury i tym samym zniszczenie sondy. To samo dotyczy innych grzejących się elementów. W obwodzie zapewne można znaleźć inny punkt znajdujący się na tym samym potencjale (pomijając rezystancje i indukcyjności połączeń).

3. Na zasilaczu ustawić sensowne ograniczenie prądowe biorąc pod uwagę, że przy załączaniu wystąpi przetężenie (patrz wyniki symulacji). Załączyć zasilacz patrząc, czy nie włączyło się na stałe ograniczenie prądowe. Jeżeli włączyło się, to należy wyłączyć układ i zastanowić się nad zwiększeniem progu ograniczenia. Jeżeli się nie włączyło, to nawet, jeżeli prąd przekracza spodziewaną wartość, układ raczej działa. Można wówczas spróbować zwiększyć napięcie do maksymalnego zakładanego, co powinno skutkować osiągnięciem napięcia wyjściowego dość zbliżonego do założonego nominalnego.
4. Po kilku sekundach sprawdzić, czy obudowy elementów nie nagrzały się do zbyt wysokiej temperatury (tranzystor, dioda, stabilizator, kondensator wyjściowy oraz kondensator stabilizatora, dławik, układy scalone). Powtórzyć tę czynność po kilkudziesięciu sekundach.

Przegrzewanie się stabilizatora może świadczyć o złym jego doborze (zbyt wysokie napięcie wejściowe), konieczności zastosowania radiatora (wydziela się w nim moc równa poborowi prądu razy różnica napięć wejście-wyjście) lub zwarcia w obwodzie sterowania.

Przegrzewanie się tranzystora lub diody świadczy zwykle o niepoprawnych obliczeniach układu chłodzenia lub o błędnym oszacowaniu mocy strat w elemencie.

W przypadku dławika niepoprawna może być średnica uzwojenia. W rzadkich wypadkach zbyt duża moc może być wydzielana w rdzeniu z powodu źle dobranego jego rozmiaru. Ogólnie powodem mógłby być także efekt naskórkowy, ale nie przy częstotliwości przełączania zastosowanej w badanym układzie (o ile jest ona zgodna z założeniami projektowymi).

Kolejnym powodem może być nasycenie dławika (również z powodu złego rozmiaru). Spowoduje ono większe niż przewidziane w projekcie wydzielanie mocy w tranzystorze i diodzie. Nasycenie można stwierdzić wyłącznie w oparciu o kształt prądu dławika – z użyciem sondy prądowej (należy obchodzić się z nią ostrożnie).

Wysoka temperatura kondensatora najprawdopodobniej wynika ze zbyt małej wytrzymałości prądowej wynikającej ze zbyt dużej rezystancji szeregowej.

We wszystkich powyższych przypadkach niespodziewanie wysoka temperatura może wynikać z błędów montażu, tj. zwarcia niepożądanych punktów lub braku niezbędnego

połączenia. W takim wypadku temperatura wynika z nieprzewidzianie wysokiego prądu elementu.

5. Działanie należy zademonstrować prowadzącemu. W razie późniejszego uszkodzenia w trakcie pomiarów będzie to dowód, że układ przynajmniej początkowo zadziałał.

## **Testy**

1. Stwierdzić, czy współczynnik wypełnienia konieczny do uzyskania nominalnego napięcia wyjściowego jest w miarę zgodny z obliczeniami i symulacjami dokonanymi na etapie projektowania. Współczynnik będzie oczywiście nieco większy od przewidywań dla przetwornicy idealnej ze względu na straty mocy. Jeżeli będzie znacząco większy (np. o więcej niż 0,1), może to świadczyć o nieprawidłowym działaniu układu lub nieprawidłowym doborze przyrządów półprzewodnikowych (zbyt duże spadki napięć i straty mocy przy występujących w układzie prądach).
2. Sprawdzić, czy układ działa poprawnie (w szczególności czy pobiera przewidziany w drodze obliczeń prąd wejściowy) i żaden element nie przegrzewa się również w najgorszych warunkach (obciążenie + napięcie wejściowe). W tym przypadku należy:  
1° zasilacz przestawić (przed wyłączeniem) na minimalne napięcie wejściowe;  
2° przestawić lub zmienić opornik, albo przestawić obciążenie elektroniczne tak, by uzyskać prąd nominalny przy nominalnym napięciu wyjściowym; 3° włączyć zasilacz przy minimalnym współczynniku wypełnienia i dopiero następnie zwiększać współczynnik wypełnienia tak, by uzyskać nominalne napięcie wyjściowe. (Inne postępowanie grozi uszkodzeniem układu w razie niepoprawnego działania, błędnego oszacowania współczynnika wypełnienia, opornika wyjściowego itd.) Powtórzyć sprawdzenie układu po kilku minutach pracy.

## **Pomiary – działanie elementów biernych**

1. Na wyjście w szereg z opornikiem należy włączyć amperomierz (multimetr) prądu stałego (pamiętać o wyborze odpowiedniego zakresu przed załączeniem zasilania – zarówno na pokrętle, jak i na gniazdach). W przypadku obciążenia elektronicznego można korzystać z jego amperomierza.
2. Sondą prądową zmierzyć prąd dławika w najgorszych warunkach (najgorsze obciążenie zgodnie z założeniami projektowymi, najgorsze napięcie wejściowe zgodnie z założeniami projektowymi – obecnie ustawić w miarę dokładnie), przy nominalnym napięciu wyjściowym (również w miarę dokładnie ustawionym za pośrednictwem współczynnika wypełnienia). Napięcie wyjściowe można mierzyć multimetrem lub na oscyloskopie (wartość średnią, nie szczytową – niektóre multimetry mogą reagować na szczytową, co może prowadzić do błędnego wyniku wskutek obecności szybkich zaburzeń).

Zarejestrować oscylogram prądu w postaci umożliwiającej odczytanie składowej stałej i przemiennej oraz czasu trwania jednego i drugiego taktu.

Zarejestrować oscylogram napięcia na dławiku (może być razem z prądem). Zwrócić uwagę na fakt uziemienia masy sondy przez oscyloskop – drugi kanał oscyloskopu nie może być w związku z tym podłączony do obwodu, gdyż spowoduje to zwarcie (sonda prądowa jest izolowana – nie stanowi problemu). Masę sondy najlepiej przyłączyć do dodatniego bieguna napięcia wejściowego, gdyż jest to stały potencjał z zasilacza; a końcówkę gorącą – do drugiego końca dławika (zmierzymy w ten sposób napięcie odwrócone, tj. ze znakiem minus względem tradycyjnego strzałkowania); oczywiście nie wolno w ten sposób doprowadzić do zwarcia obwodu przez oscyloskop, co oznacza, że masa żadnej innej sondy napięciowej nie może być jednocześnie podłączona do innego potencjału w układzie niż masa sondy mierzącej napięcie na dławiku.

Na podstawie otrzymanych oscylogramów, obliczyć indukcyjność dławika z równania cewki. Obliczyć współczynnik tętnienia prądu. Sprawdzić, czy wyniki te są zgodne z założeniami. W razie rozbieżności indukcyjności większej niż tolerancja  $A_L$  lub  $\mu$ , eksperymentalnie doważyć/odwinać odpowiednią liczbę zwojów (zapisać, jaka modyfikacja była konieczna). W przypadku zgodnej indukcyjności, a niezgodnego współczynnika tętnień, powodem może być błąd w projekcie lub niewłaściwe warunki zasilania albo obciążenia.

3. Sprawdzić, czy przetwornica pracuje w trybie CCM w warunkach najgorszych z tego punktu widzenia. Potwierdzić doświadczalnie, że warunki te są zgodne z przewidywaniami teoretycznymi. Zarejestrować odpowiednie oscylogramy wraz z wartością współczynnika wypełnienia.
4. Na powrót w najgorszych warunkach obciążenia (tj. jak w pkt. 2), zarejestrować oscylogram napięcia wyjściowego przetwornicy – ze składową stałą i bez składowej stałej (sprężenie DC/AC na oscyloskopie, odpowiednie wzmocnienie).

Z oscylogramu wyznaczyć amplitudę tętnienia napięcia wyjściowego (z pominięciem szpilek wysokiej częstotliwości). Jeżeli przekracza ona założenia projektowe, należy podjąć próbę jej zmniejszenia.

Zmierzyć amplitudę szpilek wysokiej częstotliwości na wyjściu przetwornicy (kondensator wyjściowy) pamiętając o odpowiedniej technice pomiarowej (odpowiednie akcesorium można otrzymać od prowadzącego). Zarejestrować odpowiedni oscylogram.

### **Pomiary charakterystyk przetwornicy**

1. Zmieniając napięcie wejściowe (w założonych granicach) i utrzymując stałe, nominalne napięcie wyjściowe (poprzez odpowiednią zmianę współczynnika wypełnienia) oraz stały prąd wyjściowy (tj. po prostu nie zmieniając opornika obciążającego lub ustawień obciążenia elektronicznego), wyznaczyć charakterystykę sterowania  $D = f(U_i)$  przy nominalnych  $U_o$  i  $I_o$  (ok. 10 punktów).
2. Ustawić maksymalne zakładane napięcie wejściowe (uważać na napięcie wyjściowe – w razie potrzeby zmniejszyć współczynnik wypełnienia) oraz maksymalny zakładany prąd wyjściowy. Za pośrednictwem współczynnika wypełnienia ustawić nominalne napięcie wyjściowe. Zmieniając wyłącznie napięcie wejściowe w założonych granicach (a utrzymując stały współczynnik wypełnienia), wyznaczyć charakterystykę przejściową  $U_o = f(U_i)$  przy stałym  $D$  (ok. 10 punktów). Zanotować wartość  $D$ .

Charakterystykę aproksymować linią prostą – wyświetlić na wykresie linię trendu wraz z równaniem. Odczytać transmitancję przetwornicy między wejściem mocy (tj. zasilaniem) a wyjściem, dla składowej stałej – jest to współczynnik kierunkowy uzyskanej prostej i teoretycznie powinien być równy funkcji przetwarzania napięcia, tj.  $1/(1-D)$ .

3. Ustawić na powrót warunki początkowe podobne jak w pkt. 2 – z tą różnicą, że napięcie wejściowe powinno być nominalne (tj. środkowe). Zmieniając wyłącznie obciążenie (poprzez opornik obciążający) w założonych granicach, wyznaczyć charakterystykę wyjściową  $U_o = f(I_o)$  przy stałym  $U_i$  i  $D$  (ok. 10 punktów). W tym przypadku wartość  $U_o$  może zmieniać się dość nieznacznie, wobec czego należy użyć multimetru o dużej dokładności – zostanie on udostępniony przez prowadzącego (nie należy go pobierać ani użytkować samemu oraz należy zwrócić szczególną uwagę na poprawny wybór gniazd i trybu pracy przed załączeniem zasilania). Z tego samego powodu należy zadbać o pomiar napięcia dokładnie na zaciskach wyjściowych przetwornicy, a nie między jakimikolwiek innymi punktami układu.

Charakterystykę aproksymować linią prostą. Odczytać rezystancję wyjściową

przetwornicy – jest to współczynnik kierunkowy uzyskanej prostej.

Wyniki z pkt. 1 będą pomocne w projekcie sprzężenia zwrotnego wykonywanym w ramach bloku Układy sterowania w elektronice przemysłowej (USEP). Natomiast wyniki z pkt. 2 i 3 będziemy mogli wówczas porównać z uzyskanymi dla kompletnej przetwornicy ze sprzężeniem zwrotnym; zarówno transmitancja, jak i rezystancja wyjściowa przetwornicy powinny wówczas ulec znaczącemu zmniejszeniu, co oznacza większą stałość napięcia wyjściowego w funkcji wejścia ( $U_i$ ) i obciążenia ( $I_o$ ) – cechę niezbędną w większości aplikacji przetwornic prądu stałego.

### **Demonstracja**

Układ należy włączyć w obecności prowadzącego na 15 minut w najgorszych warunkach obciążenia. Jeżeli przez ten czas się nie zepsuje, uznajemy, że został zaprojektowany i skonstruowany poprawnie.

### **Zawartość sprawozdania**

- Założenia projektowe.
- Załącznik: arkusz kalkulacyjny lub skan zapisków z obliczeniami, odzwierciedlający kompletny przebieg procesu projektowego.
- Założenia i przesłanki doboru elementów, które nie znajdują się w załączniku. Ostatecznie każda liczba i każdy wybór powinny mieć jakieś uzasadnienie.
- Kompletny schemat elektryczny układu, tj. co dokładnie znajduje się na płytce. Wykaz elementów z kosztorysem. Zdjęcie układu. Schemat (może być odręczny) połączeń płytki drukowanej.
- Krótkie stwierdzenie, jakie testy zostały wykonane (nagłówek „Testy”) i jaki dały wynik.
- Wyniki pomiarów elementów biernych i charakterystyk przetwornicy – zgodnie z punktami pod nagłówkami „Pomiary”.
- Ewentualne wprowadzone modyfikacje lub przynajmniej stwierdzenia, co proponuje się zmodyfikować, aby układ spełnił założenia (jeżeli niektórych nie spełnił).