



CZUJNIKI POMIAROWE I ELEMENTY WYKONAWCZE

Ćwiczenie 3b

Źródła światła Elektroniczne sterowanie lampą fluorescencyjną

Ramowy plan pracy

15'	30'	45'	1 ^h	1 ^h 15'	1 ^h 30'	po zajęciach

Opracowanie ćwiczenia i instrukcji:
Bartosz Pękosławski, Łukasz Starzak, Wojciech Romański

Łódź 2011

wer. 1.0.0. 5.12.2011

Spis treści

B Wprowadzenie do ćwiczenia.....	5
1. Cel i przebieg ćwiczenia.....	5
2. Podstawy teoretyczne	7
2.1. Wprowadzenie	7
2.2. Wysokoczęstotliwościowe układy stateczników z regulowaną częstotliwością	7
2.2.a. Źródło zasilania	8
2.2.b. Falownik.....	8
2.2.c. Wyjściowe układy rezonansowe.....	10
2.3. Stateczniki elektroniczne z funkcją ściemniania współpracujące z lampami fluorescencyjnymi.....	12
C Doświadczenie.....	16
3. Pomiary.....	16
3.1. Układ pomiarowy	16
3.2. Wykonanie pomiarów	19
D Wyniki.....	21
4. Opracowanie i analiza wyników.....	21
E Informacje.....	23
5. Literatura	23

Wprowadzenie do ćwiczenia

1. Cel i przebieg ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie zasady działania elektronicznego statecznika lamp fluorescencyjnych z funkcją ściemniania oraz zbadanie charakterystyk takiego układu.

2. Podstawy teoretyczne

2.1. Wprowadzenie

Lampy fluorescencyjne (potocznie zwane świetlówkami) zyskują coraz większą popularność w rozwiązaniach oświetlenia domowego. Najpopularniejsze obecnie świetlówki zawierają zintegrowany wysokoczęstotliwościowy przekształtnik elektroniczny umożliwiający zapłon oraz poprawną pracę lampy. Takie źródła światła nazywamy kompaktowymi lampami fluorescencyjnymi (ang. Compact Fluorescent Lamps).

2.2. Wysokoczęstotliwościowe układy stateczników z regulowaną częstotliwością [1]

Wysokoczęstotliwościowe układy stateczników należą do najczęściej stosowanych obecnie rozwiązań umożliwiających dostosowanie jasności świecenia lamp fluorescencyjnych do potrzeb użytkownika. Ich popularność wynika bezpośrednio z niskiego stopnia skomplikowania konstrukcji, wysokiej wartości współczynnika mocy oraz współczynnika szczytu oraz dość wysokiej sprawności. Praca układu wyjściowego z częstotliwością z zakresu od kilkudziesięciu do kilkuset kiloherców umożliwia uzyskanie tego samego natężenia promieniowania przy równoczesnym ograniczeniu poboru mocy nawet o 20%. Dodatkowo praca w powyższym paśmie zapewnia bezgłośnie działanie układu we wszystkich stanach. Częstotliwość pracy komercyjnych stateczników nie przekracza z reguły 100 kHz. Dodatkową zaletą układów wysokoczęstotliwościowych jest łatwość sterowania obwodem wyjściowym statecznika.

Na rysunku 1 przedstawiony został schemat blokowy wysokoczęstotliwościowego obwodu mocy statecznika lamp fluorescencyjnych. Można w nim wyróżnić trzy podstawowe części składowe.



Rys. 1. Schemat blokowy obwodu mocy typowego statecznika lampy fluorescencyjnej

2.2.a. Źródło zasilania

Pierwszym blokiem statecznika wysokoczęstotliwościowego jest źródło zasilania napięciem stałym. Zasilanie w układach tego typu może być realizowane na wiele sposobów. Wśród nich można wyróżnić trzy najczęściej stosowane topologie:

- klasyczny obwód prostowniczy wykorzystujący mostek diodowy połączony w układ Graetza uzupełniony o filtr wejściowy w postaci kondensatora elektrolitycznego,
- obwód prostowniczy rozszerzony o układ biernej korekcji współczynnika mocy (ang. Power Factor Corrector – PFC),
- obwody prostownicze rozszerzone o aktywny korektor współczynnika mocy.

2.2.b. Falownik

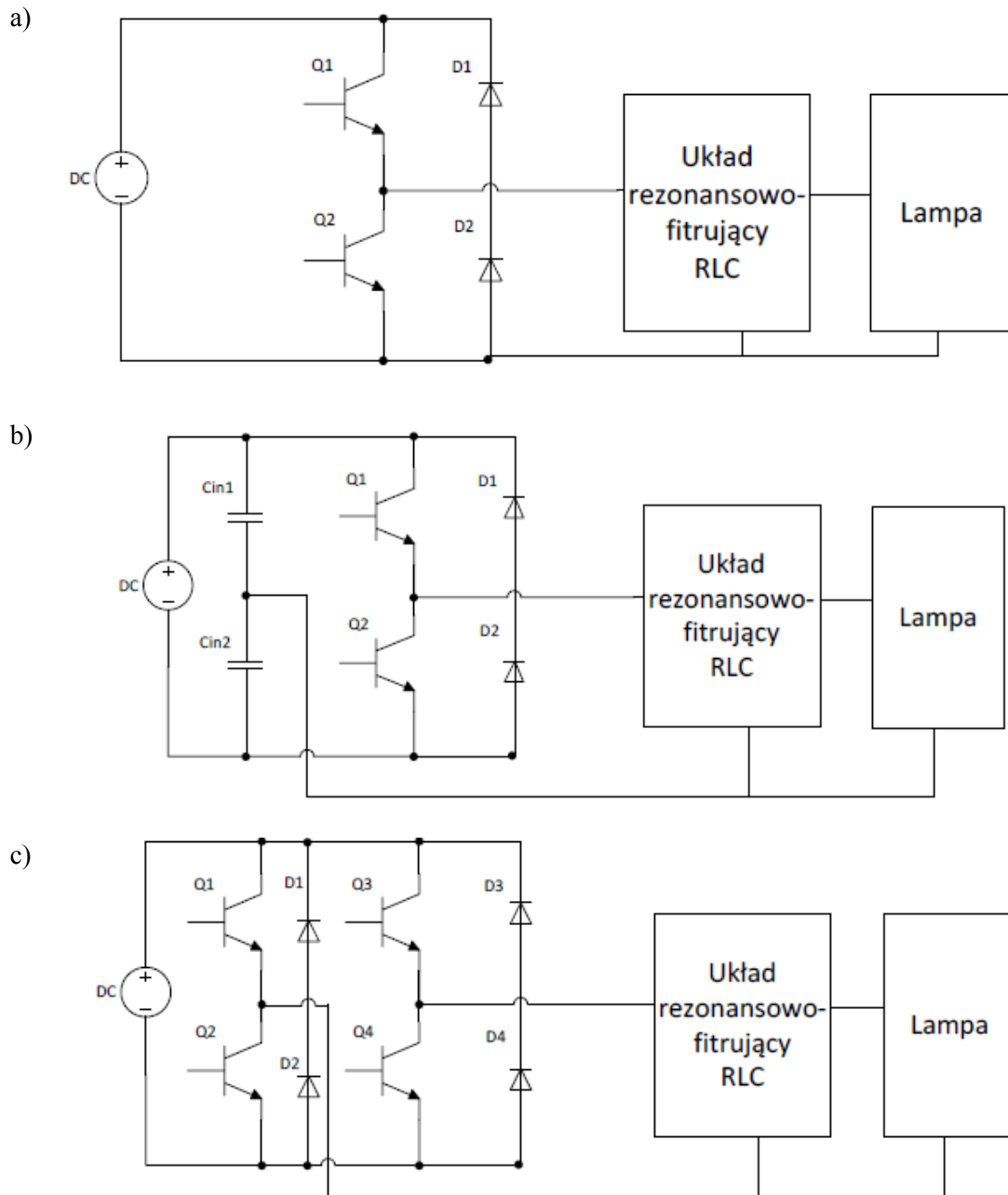
Kolejnym elementem składowym statecznika elektronicznego z modulacją częstotliwości jest falownik przekształcający napięcie stałe w zmienne. Aby zapewnić prawidłową pracę lampy we wszystkich trybach pracy, przekształtnik ten musi posiadać możliwość dostosowywania wartości szczytowej napięcia i prądu wyjściowego do wybranego trybu pracy lampy oraz zapewnić warunki podtrzymujące jej działanie w całym zakresie jej natężenia promieniowania. Zmianę wartości szczytowej napięcia i prądu uzyskuje się dzięki modulacji częstotliwości przełączania stopnia wyjściowegoysterowującego lampę. Powyższe funkcje udaje się uzyskać stosując półprzewodnikowe układy przekształtnikowe DC/AC – falowniki. W układach wysokoczęstotliwościowych stateczników elektronicznych stosuje się trzy podstawowe topologie przekształtników napięciowych. Zastosowanie tego typu układów pozwala na modulację częstotliwości napięcia zapewniającą otrzymanie zarówno odpowiedniego napięcia przy podgrzewaniu żarników jak i osiągnięcie napięcia o wartości szczytowej potrzebnej do zapłonu lampy fluorescencyjnej.

Pierwszym wariantem falownika wykorzystywanym w układach statecznikowych jest układ asymetrycznego falownika półmostkowego przedstawiony na rysunku 2a. Ten typ rozwiązania szczególnie nadaje się do sterowania napięciem wyjściowym lamp fluorescencyjnych o małej mocy wyjściowej. Oprócz podstawowych elementów półprzewodnikowych widocznych na rysunku 2a układ ten wymaga dodatkowo zastosowania szeregowego kondensatora wyjściowego. Element ten został pominięty w schemacie ogólnym, ponieważ stanowi on często integralną część wyjściowego filtra RLC. Element ten ma za zadanie zlikwidować składową stałą prądu przenoszoną na wyjście układu, ponieważ mogłaby ona spowodować nasycenie rdzenia cewki wyjściowej układu rezonansowo-filtrującego RLC.

Kolejnym rodzajem falownika wykorzystywanym w układach statecznikowych jest obwód półmostkowy widoczny na rysunku 2b. Klucze półprzewodnikowe Q1 i Q2 falownika sterowane są przeważnie za pomocą sygnału o modulowanej częstotliwości i stałym współczynniku wypełnienia równym 0,5. W przypadku tej topologii zastosowany jest układ dwóch szeregowo połączonych kondensatorów umieszczonych równolegle do wejściowego źródła napięcia stałego. Elementy te dobrane są tak, aby w ich wspólnym węźle występowało stałe napięcie równe połowie napięcia wejściowego. Do powyższego węzła przyłączona jest ujemna końcówka wyjściowego filtra rezonansowego. Wejściowe kondensatory C_{in1} oraz C_{in2} o jednakowej i odpowiednio dużej pojemności zapewniają stałą wartość potencjału niezależnie od tego, który klucz przewodzi w danej chwili, gdyż prąd wyjściowy falownika rozdziela się równo między kondensatorami. Stały przepływ prądu przez układ kondensatorów wejściowych powoduje całkowite odcięcie składowej stałej w obwodzie wyjściowym. Kondensatory C_{in1} oraz C_{in2} przeciwdziałają w konsekwencji nasyceniu cewki w wyjściowym obwodzie rezonansowym. Falowniki o topologii półmostkowej są jednymi z najpopularniejszych układów kondycjonujących napięcie w elektronicznych statecznikach lamp fluorescencyjnych małej oraz średniej mocy.

Trzecim wariantem falownika jest widoczny na rysunku 2c układ pełnego mostka. Obwód ten znajduje zastosowanie w zasilaniu lamp fluorescencyjnych o mocy charakteryzujących się wysoką wartością napięcia zapłonu oraz dużą wartością pobieranego prądu. Podstawowymi elementami składowymi powyższego układu są dwa falowniki półmostkowe. Najbardziej znaczącą zaletą tego typu rozwiązania jest dwukrotny wzrost napięcia wyjściowego w porównaniu do topologii

poprzedniego układu. Oznacza to w praktyce, że prądy przełączane między tranzystorami są równe połowie wartości dla układów pojedynczego półmostka. Zastosowanie układów o topologii pełnego mostka niesie za sobą dość znaczne zwiększenie stopnia skomplikowania układu sterującego. Jedną z metod sterowania napięciem wyjściowym w układach pełnego mostka jest modulacja szerokości impulsu z bipolarnym napięciem przełączającym. Układ sterujący musi tak zsynchronizować impulsy sterowania, aby przełączane były jednocześnie przeciwległe położone pary tranzystorów Q1 i Q4 lub Q2 oraz Q3. Modulacja szerokości impulsu wymaga istnienia osobnego sygnału modulującego w postaci przebiegu trójkątnego. Układy falowników mostkowych ze względu na zwiększenie ilości elementów oraz opisane powyżej zwiększenie stopnia skomplikowania obwodu sterowania stosowane są tylko w przypadku lamp o dużym poborze mocy np. wysokociśnieniowych lamp projektorowych o mocy przekraczającej 150 W. Rozwiązanie to raczej nie znajduje zastosowania w segmencie świetlówek kompaktowych.

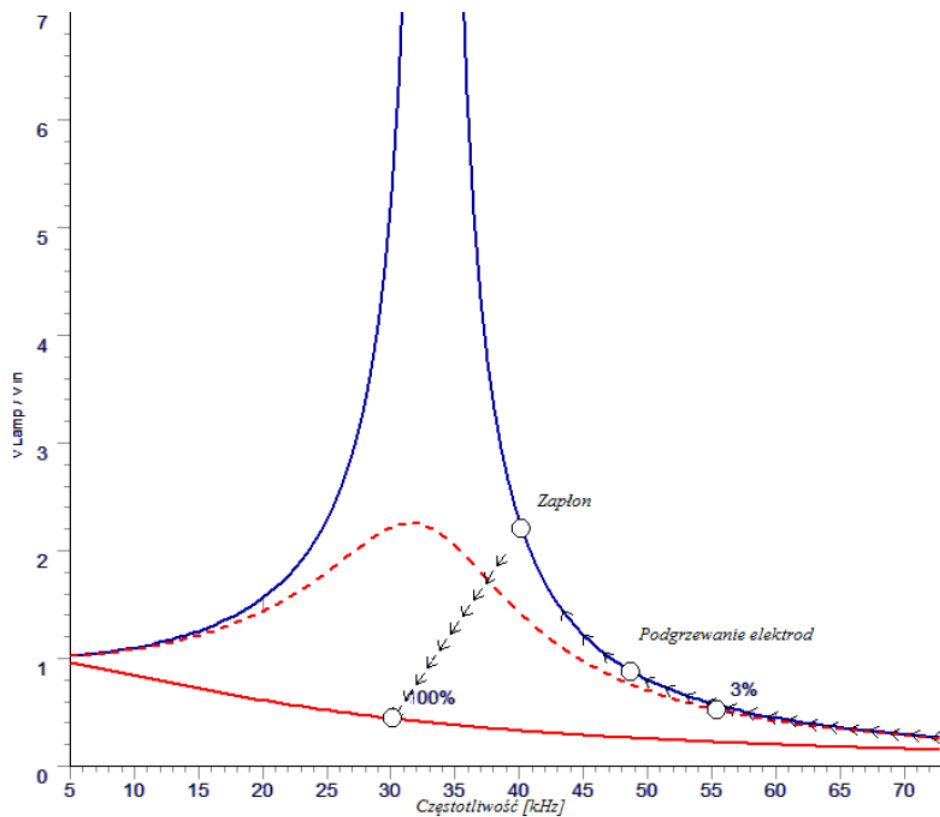


Rys. 2. Podstawowe konfiguracje falowników elektronicznych wykorzystywanych w układach elektronicznych stateczników lamp fluorescencyjnych z funkcją ściemniania

2.2.c. Wyjściowe układy rezonansowe

Głównym zadaniem wyjściowego bloku RLC jest dostosowanie wartości prądu wyjściowego układu falownika do wartości pożądanej w celu zapewnienia prawidłowej pracy lampy. Kolejną funkcją jest utrzymywanie współczynnika szczytu (ang. crest factor) na poziomie $k_c=1,4$ odpowiadającym jego wartości dla przebiegu sinusoidalnego. Przyczynia się to do znacznego zwiększenia żywotności elektrod lampy fluorescencyjnej. Dodatkowo układ rezonansowy powinien zapewnić odpowiednio wysokie wzmocnienie napięciowe pozwalające na zapłon lampy.

Na rysunku 3 przedstawiony został wykres wzmocnienia przykładowego wyjściowego obwodu RLC. Zostały na nim zaznaczone punkty pracy obwodu w czterech charakterystycznych trybach pracy lampy fluorescencyjnej: zapłon, podgrzewanie elektrod, praca z minimalną i maksymalną częstotliwością świecenia. Analizując tę charakterystykę można zauważyć, że sterownik falownika musi zapewnić pracę w szerokim zakresie częstotliwości tak aby umożliwić pracę w każdym z pożądanych trybów.



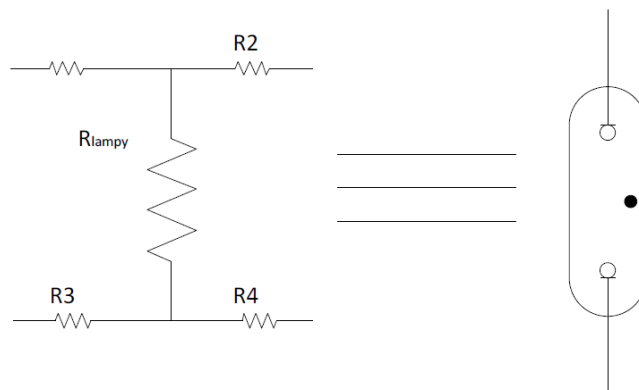
Rys.3. Charakterystyki częstotliwościowe wzmocnienia napięciowego przykładowego obwodu wyjściowego.
Punkt - 3% oznacza ściemnienie lampy do trzech procent znamionowej mocy czynnej,
Punkt - 100% praca z pełnym natężeniem promieniowania

Na wykresie z rysunku 3 przedstawione są trzy krzywe wzmocnienia napięciowego. Spowodowane jest to zależnością dobroci obwodu rezonansowego od rezystancji dynamicznej lampy. Podczas podgrzewania i zapłonu wartość dynamicznej rezystancji lampy ma bardzo dużą wartość w konsekwencji dobroć układu rezonansowego opisana wzorem ogólnym:

$$Q = \omega_r \cdot C \cdot R \quad (1)$$

wzrasta do wartości zbliżonej do maksymalnej (która wystąpiłaby dla nieskończonej rezystancji). Rezystancja lampy osiąga minimum dla maksymalnego natężenia światła. W tym trybie pracy obwód wykazuje najmniejszą dobroć. Wraz ze ściemnianiem zastępcza rezystancja dynamiczna rośnie. Można to zaobserwować na charakterystyce z rysunku 3. Krzywa wzmocnienia napięciowego odpowiadająca pracy lampy z natężeniem promieniowania równym 3% wartości maksymalnej

charakteryzuje się znacznie większą dobrocią niż dla 100%. W trybie podgrzewania elektrod lampy zastępcza rezystancja lampy posiada wartość zbliżoną do maksymalnej, w konsekwencji dobroć obwodu rezonansowego jest bardzo duża. Wymagana jest więc odpowiednio wysoka częstotliwość dobrana tak aby napięcie nie doprowadziło do zapłonu. Wysoka wartość dobroci występuje również w trybie zapłonu. Częstotliwość musi być w tym przypadku zbliżona do częstotliwości rezonansowej obwodu. Dzięki takim położeniu punktu pracy uzyskuje się maksymalną wartość wzmacnienia, a tym samym napięcie o wartości pozwalającej na zapłon. W trybie pracy ciągłej dobroć świetlówki jest mała, lecz zależna od częstotliwości falownika. W ten sposób uzyskuje się możliwość zmiany natężenia strumienia świetlnego.



Rys. 4. Uproszczony schemat zastępczy lampy fluorescencyjnej

Aby uzyskać przebiegi charakterystyk w trybie ściemniania wprowadza się uproszczony model lampy (rys. 4). Składa się on z dwóch podstawowych części: par rezystorów symulujących rezystancję żarników świetlówki: R1 i R2, R3 i R4 oraz rezystancji głównej lampy R_{lampy} .

Zależność zastępczej dynamicznej rezystancji lampy fluorescencyjnej natężenia promieniowania opisuje równanie:

$$R_{lampy} = \frac{U_{rms}^2}{P} = \frac{U^3}{2P} \quad (2)$$

gdzie P oraz U_{rms} przedstawiają odpowiednio moc czynną lampy oraz wartość skuteczną napięcia na lampie dla określonego natężenia promieniowania.

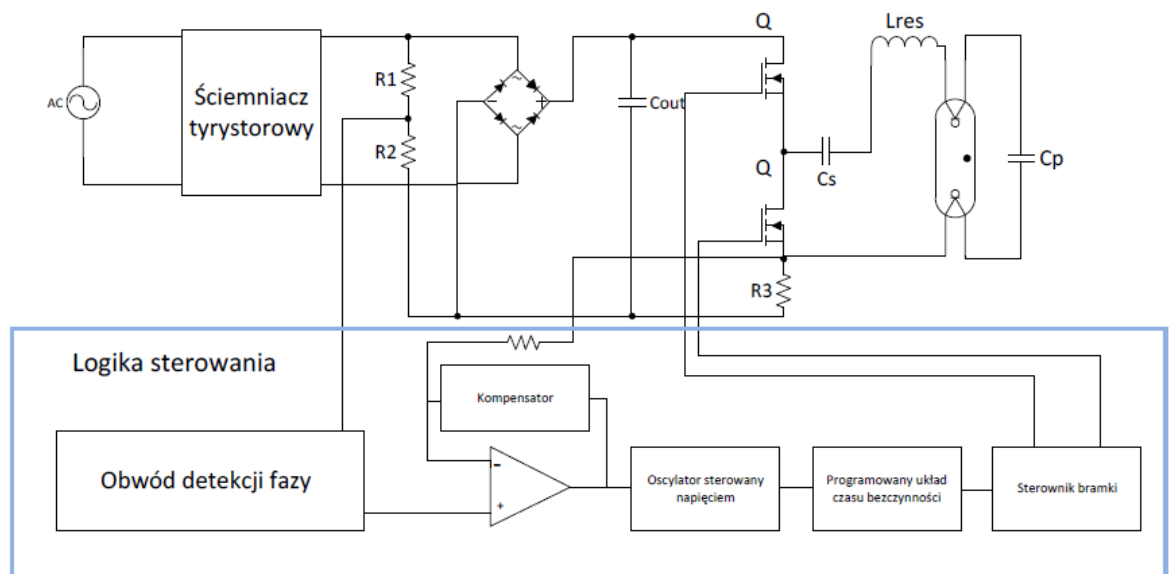
Istnieje wiele różnych rozwiązań wyjściowych filtrów rezonansowych. Wśród nich można wyróżnić:

- filtr równoległy LC
- filtr szeregowo-równoległy LCC
- filtr szeregowo-równoległy LCLC

2.3. Stateczniki elektroniczne z funkcją ściemniania współpracujące z lampami fluorescencyjnymi [1]

Przy wykorzystaniu tradycyjnych ściemniaczy tyrystorowych (sterowników fazowych) do sterowania natężeniem promieniowania lamp fluorescencyjnych pojawia się szereg trudności. Jedną z głównych wad wynika ze zmniejszania przez tyrystor skutecznej wartości napięcia, a w konsekwencji obniżenia napięcia szyny zasilającej statecznika. Powoduje to problemy z uzyskaniem napięcia o wartości pozwalającej na zapłon świetlówki, gdy potencjometr ściemniacza tyrystorowego jest w pozycji niższej niż maksymalna. Kolejną wadą jest zmiana strumienia świetlnego w kierunku odwrotnym od zamierzonego wynikająca z ujemnego nachylenia charakterystyki prądowo-napięciowej lampy fluorescencyjnej. Problemy te rozwiązuje zastosowanie dedykowanych stateczników elektronicznych z modulowaną częstotliwością i detekcją kąta wysterowania.

Stateczniki elektroniczne współpracujące z tradycyjnymi układami ściemniaczy tyrystorowych wyposażone są w mikroprocesorowy obwód sterowania wykorzystujący zmiany w kącie wysterowania ściemniacza tyrystorowego. Układy te mają za zadanie zapewnienie pracy z wysoką wartością współczynnika mocy oraz ograniczenie wprowadzanych przez układ wyższych harmonicznych, pojawiających się na skutek sterowania fazowego w ściemniaczu tyrystorowym. Na rysunku 5 przedstawiony został schemat funkcjonalny przykładowego rozwiązania statecznika lamp fluorescencyjnych sterowanego przy pomocy kąta fazowego.

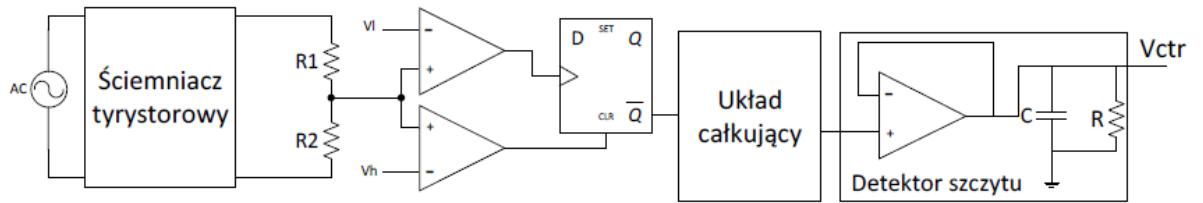


Rys.5. Schemat blokowy statecznika elektronicznego sterowanego kątem fazowym z zamkniętą pętlą sprzężenia zwrotnego

Informacja o kącie wysterowania triaka jest zapamiętywana przez mikrokontroler sterujący, a następnie przetwarzana przez logikę układu sterowania. Współczynniki w pętli sprzężenia zwrotnego mogą być dobrane tak, że już zmiana kąta wysterowania ściemniacza tyrystorowego od 0° do 20° powoduje zmiany jasności lampy w całym zakresie. Minimalizacja przedziału zmian kąta wysterowania oraz uzupełnienie obwodu o dodatkowy pasywny lub aktywny układ PFC zapewnia utrzymanie współczynnika mocy na wysokim poziomie w całym zakresie natężenia promieniowania.

Rolę detektora kąta wysterowania może spełniać obwód przedstawiony na schemacie blokowym z rysunku 6. Układ detekcji kąta fazowego statecznika wykorzystuje potencjał we wspólnym węźle rezystorów bocznikujących R1 i R2 (rys. 6) do wykrycia pełnego okresu sygnału na wyjściu prostownika. Układ wejściowych wzmacniaczy różnicowych służy do poprawnego dekodowania kąta wysterowania w przypadku, gdy kąty wysterowania różnią się dla dodatniego i ujemnego półokresu

przebiegu napięcia wyjściowego tyrystora. W tym celu do obwodu wprowadzone zostały napięcia odniesienia V_l i V_h stanowiące granice załączenia detektora.

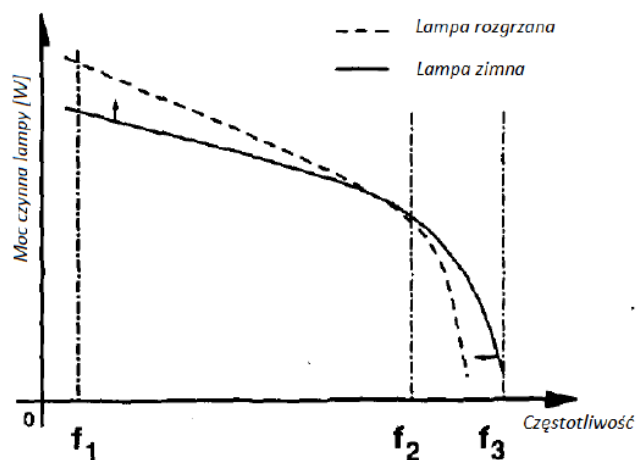


Rys.6 Schemat blokowy detektora fazy

Zamieszczony na schemacie blokowym przerzutnik typu D w połączeniu z parą komparatorów konwertuje kąt wysterowania na sygnał o prostokątny o zmiennej szerokości impulsu. Przebieg ten jest następnie podawany na wejście układu całkującego. Po scałkowaniu układ napięcie szczytowe wewnętrznego kondensatora w układzie całkującym zostaje wykryte dzięki detektorowi szczytu. Otrzymany tym sposobem sygnał wyjściowy V_{ctr} z układu detekcji i konwersji kąta fazowego służy do sterowania oscylatorem VCO (ang. Voltage Control Oscillator – oscylator sterowany napięciem). Układ ten umożliwi dopasowanie pasma częstotliwości sterującej kluczami falownika do wybranego rodzaju statecznika. Programowanie dopuszczalnych częstotliwości oscylatora sterowanego napięciem odbywa się poprzez dobór połączenia rezystora oraz kondensatora o pożądanej stałej czasowej. Sygnałem wyjściowym układu jest przebieg prostokątny o zmiennej częstotliwości oraz stałym współczynniku wypełnienia $D = 50\%$. Służy on do ustalania częstotliwości pracy sterownika tranzystorów falownika. Elementy półmostka sterowane są przy pomocy komplementarnych sygnałów umożliwiających uzyskanie na wyjściu napięcia przemiennego o regulowanej częstotliwości.

Układy statecznikowe współpracujące z tradycyjnymi ściemniaczami rezonansowymi wykorzystują sterowanie z wykorzystaniem modulowanej częstotliwości, ponieważ metoda ta pozwala na łatwą implementację zarówno trybu zapłonu jak i podgrzewania elektrod. Za obie te funkcje odpowiadają osobne obwody logiczne zintegrowane w jednym mikrokontrolerze.

Stateczniki elektroniczne sterowane za pomocą kąta fazowego wymagają dodatkowo zastosowania pętli sprzężenia zwrotnego (bocznik R_3). Konieczność jej istnienia wynika z nieliniowości charakterystyki częstotliwościowej lampy oraz od jej zależności temperatury (rys. 7). Dzięki zastosowaniu sieci kompensacyjnej zapewnić można prawidłową reakcję układu na szybkie zmiany kąta fazowego. Zastosowanie wzmacniacza błędów ogranicza częstotliwość pracy układu w granicach ustalonych wartością napięcia odniesienia.

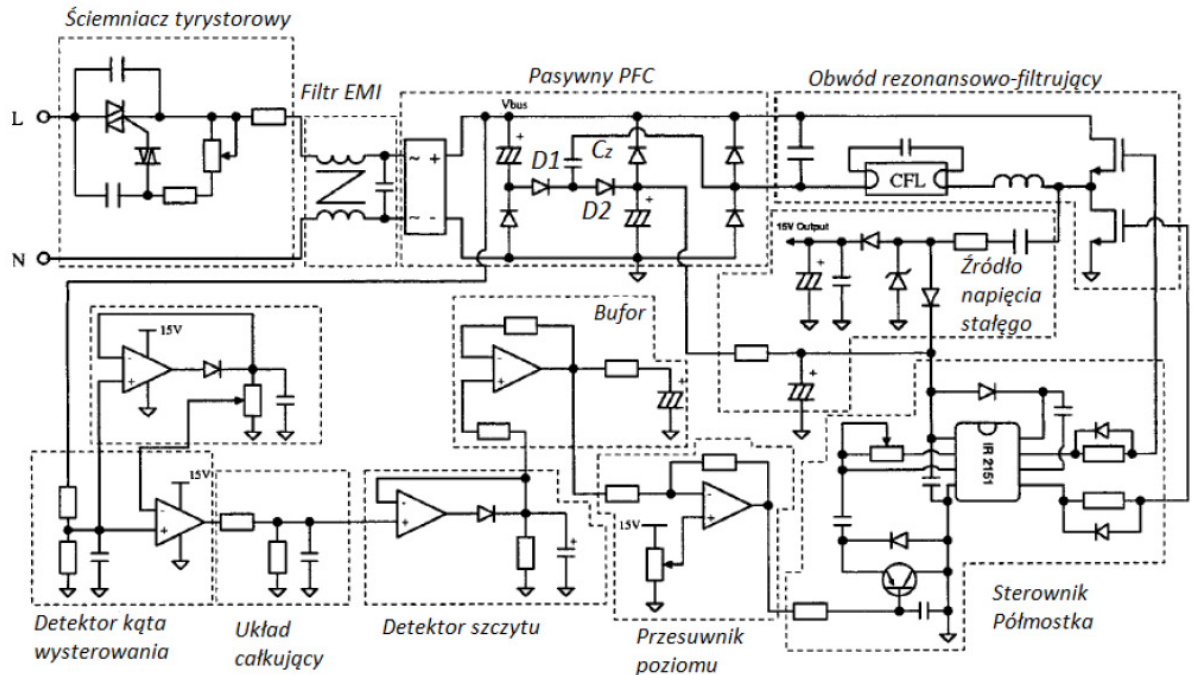


Rys.7 Charakterystyka częstotliwościowa mocy czynnej świetlówki w zależności od jej temperatury

Dodatkowe zapewnienie prawidłowej pracy w postaci zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego wprowadza pewne ograniczenia do funkcjonalności obwodu. Obwód ten wymaga bowiem elementów

dobrych do mocy lampy. Zauważ to w znaczny sposób moc lamp, które można podłączyć do tego typu statecznika bez ingerencji w wartości elementów wewnątrz niego. Wynika z tego, że elektroniczne układy stabilizujące współpracujące z klasycznymi ściemniaczami tyrystorowymi projektowane są zwykle dla konkretnego typu oraz mocy lampy.

Przykładem układu współpracującego z tradycyjnymi ściemniaczami tyrystorowymi jest statecznik elektroniczny wykorzystujący oscylacyjny sterownik półmostka IR2151 firmy International Rectifier. Schemat tego statecznika przedstawiony został na rysunku 8. Wyróżnia się on współczynnikiem mocy o wartości 0,93 uzyskanym dzięki układowi biernej korekcji w postaci pompy ładunkowej. Kolejną cechą jest szeroki przedział natężenia promieniowania od 15 % do 100 % wartości maksymalnej. Statecznik ten charakteryzuje się ponadto stabilną pracą nawet dla wysokiej wartości kąta wysterowania triaka w obwodzie wejściowym. Metodą wykorzystywaną w układzie sterowania jest metoda modulacji częstotliwości przełączania.



Rys.8 Schemat statecznika z funkcją ściemniania, opartego na układzie IR2151

W celu zmniejszenia rozmiaru układu zrezygnowano z zastosowania aktywnej korekcji współczynnika mocy. Aby ograniczyć powstawanie gwałtownych impulsów prądowych spowodowanych ładowaniem kondensatorów wyjściowych prostownika wejściowego w układzie zostało wprowadzone wysokoczęstotliwościowe źródło prądu przemiennego ładujące powyższe pojemności w całym okresie pracy urządzenia złożone z diod D1, D2 i kondensatora Cz. Obwód ten uzyskuje się dzięki wprowadzeniu sprzężenia zwrotnego z wyjścia falownika do układu zwany pompą ładunkową (blok Pasywny PFC na rys. 8). Jest to połączenie topologii czterech diod wraz z kondensatorem. Pojemności są dzięki tej metodzie ładowane ciągłym prądem zmiennym o częstotliwości ok. 10 kHz. Układ ten spełnia w opisywanym stateczniku rolę biernego korektora współczynnika mocy oraz zapewnia pracę świetlówki bez migotania nawet dla niskich wartości zadanego natężenia promieniowania.

Współpraca ze ściemniaczami tyrystorowymi możliwa jest dzięki układowi konwersji kąta wysterowania na częstotliwość. Elementy składowe tej części układu (rys. 8) nie odbiegają znacząco od konwencjonalnej wersji. Układ ten zapamiętuje kąt wysterowania triaka oraz konwertuje go na częstotliwość pracy falownika umożliwiając tym samym dostosowanie natężenia promieniowania do wartości ustawionej za pomocą potencjometru ściemniacza. Konwersja kąta wysterowania na częstotliwość odbywa się za pomocą detektora kąta wysterowania, układu całkującego oraz detektora szczytu (rys. 8).

Opisywany statecznik elektroniczny posiada dodatkowo zabezpieczenie lampy przed migotaniem dla niskich wartości natężenia promieniowania. Przy takich warunkach pracy lampa zaczęłaby wykazywać okresowe zmiany strumienia świetlnego. Oznacza to w praktyce zawężenie przedziału

regulacji natężenia promieniowania do wartości, przy której to zjawisko zaczyna występować. Aby rozwiązać ten problem stosuje się przemiatanie częstotliwości przełączania falownika. Lampa sterowana jest sygnałem o okresowo zmiennej częstotliwości. Sygnał przełączania przełączania falownika zmienia się z częstotliwością 100 Hz od wartości ok. 40 kHz do 80 kHz. Modulacja częstotliwości powoduje, że dla niskich częstotliwości pracy układu lampa ładowana jest prądem o większej wartości. Gaz wewnątrz lampy wykazuje wtedy okresowe zwiększenie jonizacji, która podtrzymuje ciągłość świecenia dla niskich wartości natężenia promieniowania.

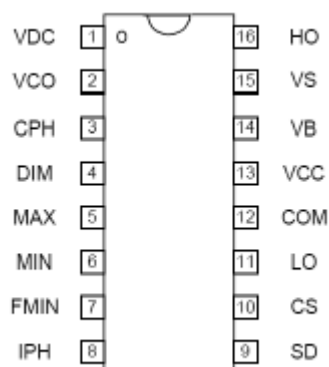
3. Pomiary

3.1. Układ pomiarowy

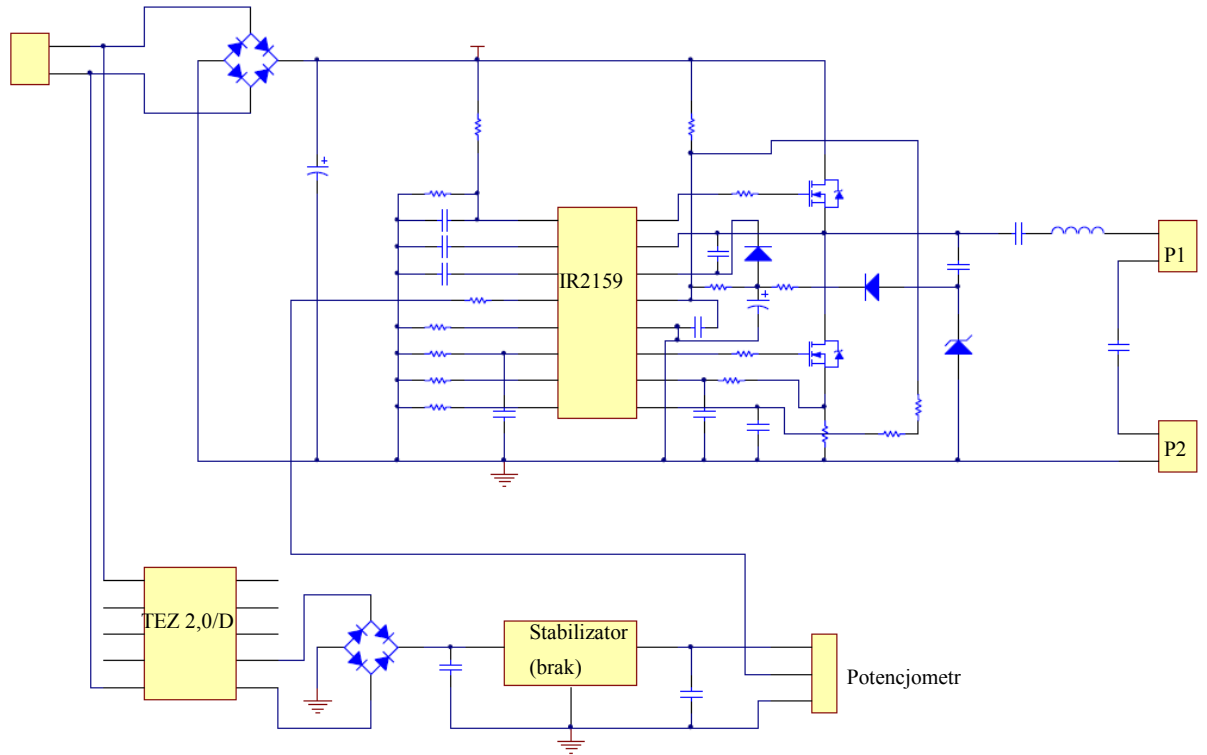
Układ pomiarowy, którego schemat jest pokazany poniżej, składa się z elektronicznego statecznika i świetlówki kompaktowej TC/DEL 18W. W układzie statecznika wykorzystana została topologia dwustopniowa złożona z prostownika, falownika i wyjściowego filtra rezonansowego. Elementem sterującym układu jest dedykowany mikrokontroler scalony IR2159 firmy International Rectifier (rys. 9). Podzespół ten wykorzystuje metodę modulacji częstotliwości impulsu do sterowania kluczami falownika. Jest on przeznaczony do działania w zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego. Zawiera on również wejścia programowania zapewniające możliwość dostosowania warunków pracy układu do szerokiego zakresu typów oraz mocy lamp fluorescencyjnych. Wśród parametrów programowanych przez dołączenie rezystancji lub pojemności o odpowiedniej wartości znajdują się między innymi wartość minimalna oraz maksymalna mocy lampy, dopuszczalny prąd nagrzewania, częstotliwość oraz czas podgrzewania elektrod. Powyższy układ zapewnia również możliwość beztransformatorowego wykrywania mocy lampy. Sterownik posiada również szereg funkcji zabezpieczających przed niepoprawnymi warunkami pracy lampy mogącymi doprowadzić do skrócenia jej żywotności lub nawet całkowitego uszkodzenia jej elektrod. Układ zaopatrzony jest także w system wykrywania zbyt niskiego napięcia zasilającego oraz system automatycznego restartu. Dzięki istnieniu sprzężenia zwrotnego, układ reaguje na uszkodzenie lampy podczas świecenia poprzez natychmiastowe wyłączenie falownika. Stan wyprowadzeń diagnostycznych informuje użytkownika o przyczynie przerwania działania statecznika. Przykładem takiej końcówki jest pin SD informujący poprzez wzrost napięcia do kilkunastu woltów o konieczności wymiany bądź braku lampy w oprawie. Wartość jego napięcia spada poniżej 1 V, gdy napięcia zasilania układu jest mniejsze od 15,6 V. W przypadku zaniku zasilania sterownik IR2159 wyłącza falownik sam pozostając w stanie załączenia i okresowo sprawdzając poprawność napięcia. Jeżeli napięcie zasilania zarówno logiki jak i układu wyjściowych sterowników kluczy falownika, jest na odpowiednim poziomie, rozpoczyna się tryb podgrzewania. Koniec trybu podgrzewania wyznaczony jest wzrostem

napięcia pomiędzy pinem CPH a masą do poziomu wyższego niż 5,1 V. Jeżeli proces podgrzewania elektrod skończy się pomyślnie, układ przechodzi w tryb zapłonu. Gdy zapłon nie powiedzie się, sterownik zmienia częstotliwość falownika tak, aby układ wszedł ponownie w tryb podgrzewania elektrod. Tryby zmieniają się w takiej pętli aż do uzyskania zapłonu. Gdy lampa zgaśnie w trybie ściemniania, ponowne załączenie również rozpoczyna się od trybu podgrzewania. Gdy zapłon powiedzie się, statecznik przechodzi w tryb ściemniania..

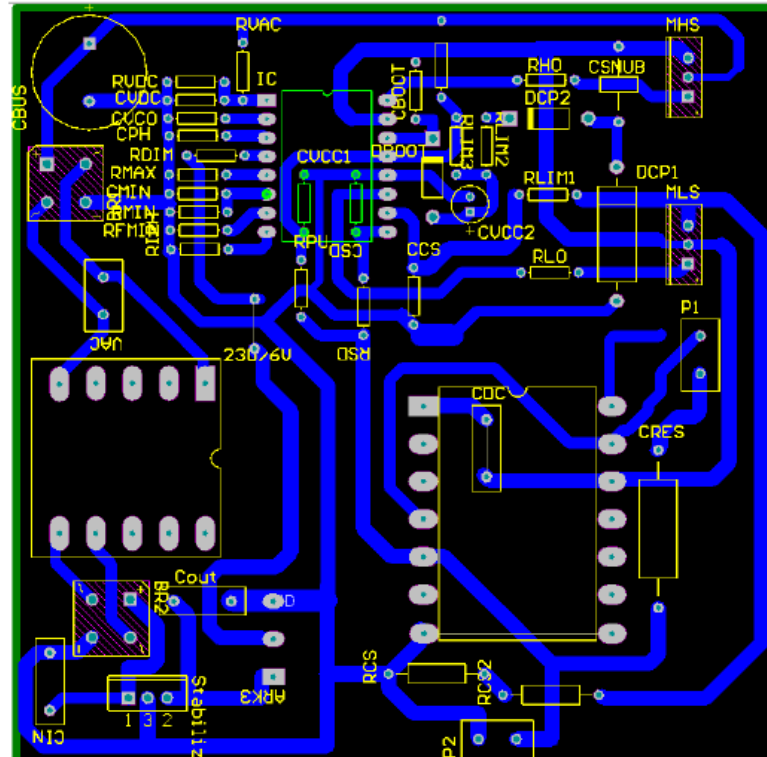
Sterowanie intensywnością świecenia w skonstruowanym układzie statecznika zrealizowane jest za pomocą zmiany przesunięcia fazowego (między przebiegami napięcia oraz prądu wyjściowego lampy) uzyskiwanej dzięki zmianie częstotliwości przełączania falownika. Sterownik IR2159 wykorzystuje właściwości wyjściowego obwodu RLC. W czasie podgrzewania elektrod oraz zapłonu sterownik końcowy falownika przełącza klucze z częstotliwością zbliżoną do rezonansowej. Wyjściowy filtr RLC posiada w tym trybie wysoką wartość dobroci wynikającą z dużej wartości rezystancji lampy. W tym stanie następuje również silne przesunięcie fazowe w obwodzie wyjściowym. W realizowanym układzie częstotliwość zapłonu oraz podgrzewania ustalona jest powyżej częstotliwości rezonansowej, więc kąt przesunięcia w tym trybie ustalony jest na poziomie -90° . Podczas ściemniania obwód rezonansowy zmienia charakter wprowadzając duże przesunięcie fazowe dla niskich wartości intensywności świecenia (duże częstotliwości) oraz małe przesunięcie dla dużych mocy (małe częstotliwości). Funkcję sterowania ściemnianiem spełnia w układzie IR2159 analogowe wejście niskiego napięcia z przedziału 0,5V-5V określającego natężenie promieniowania.



Rys. 9. Układ wyprowadzeń scalonego sterownika IR2159



Rys. 10. Schemat układu pomiarowego



Rys. 11. Obwód drukowany

3.2. Wykonanie pomiarów

1. Połączyć układ pomiarowy z sondami napięciowymi na wyjściu falownika (sonda 100x) i między elektrodami lampy – złącza P1 i P2 (sonda 100x) oraz na linii zasilania układu IR2159 (sonda 10x). Zasilanie układu dołączyć do wyjścia transformatora ochronnego (nie włączając zasilania). Poprosić prowadzącego o sprawdzenie połączeń.
2. Zarejestrować na jednym oscylogramie przebiegi napięcia lampy, napięcia zasilania i napięcia wyjścia falownika w trybie zapłonu.
3. Wyłączyć zasilanie. Sondę napięciową 10x przełożyć do pomiaru napięcia bramka-źródło dolnego tranzystora falownika. Założyć sondę prądową do pomiaru prądu lampy. Poprosić prowadzącego o sprawdzenie połączeń.
4. W trybie pracy ciągłej zarejestrować na jednym oscylogramie przebiegi napięcia U_{GS} dolnego tranzystora falownika, napięcia wyjściowego falownika, napięcia lampy i prądu lampy dla największej, pośredniej i najmniejszej uzyskiwanej mocy świecenia.
5. Wyłączyć zasilanie. Podłączyć miernik cyfrowy do pomiaru napięcia sterowania.
6. Dla 5÷8 różnych wartości napięcia sterowania zmierzyć/zarejestrować:
 - przebieg napięcia i prądu wyjściowego (na lampie),
 - moc czynną wyjściową (mnożąc w programie zarejestrowane przebiegi napięcia i prądu wyjściowego, pamiętając o zarejestrowaniu co najmniej 5 pełnych okresów),
 - wartość skuteczną prądu zasilania (po przełożeniu sondy prądowej na wejście),
 - częstotliwość pracy falownika,
 - kąt fazowy.
7. Wyłączyć zasilanie. Podłączyć autotransformator na zasilaniu układu (nie włączając zasilania). Poprosić prowadzącego o sprawdzenie połączeń.
8. Ustawić maksymalną moc świecenia za pomocą potencjometru.
9. Zmniejszając napięcie zasilania od 230V do minimalnego, przy którym świetlówka pracuje stabilnie, zmierzyć/zarejestrować:
 - przebieg napięcia i prądu wyjściowego (na lampie),
 - moc czynną wyjściową (mnożąc w programie zarejestrowane przebiegi napięcia i prądu wyjściowego, pamiętając o zarejestrowaniu co najmniej 5 pełnych okresów),
 - wartość skuteczną prądu zasilania (po przełożeniu sondy prądowej na wejście).

4. Opracowanie i analiza wyników

1. Wyznaczyć wartość napięcia międzyszczytowego oraz częstotliwość pracy falownika w trybie zapłonu.
2. Na podstawie zarejestrowanych oscylogramów dla pracy ciągłej układu wyjaśnić zależność mocy świecenia od kąta fazowego i częstotliwości.
3. Dla wyników z punktu 3.2.6 obliczyć moc pozorną i współczynnik mocy w każdym przypadku. Zebrać wyniki w tabeli.
4. Wyznaczyć charakterystykę mocy czynnej od napięcia sterowania.
5. Sformułować wnioski dotyczące sterowania mocą świecenia lampy za pomocą badanego układu.
6. Dla wyników z punktu 3.2.9 obliczyć moc pozorną i współczynnik mocy w każdym przypadku. Zebrać wyniki w tabeli.
7. Wyznaczyć charakterystykę mocy czynnej od napięcia zasilania.
8. Sformułować wnioski dotyczące sterowania mocą świecenia lampy za pomocą zmiany napięcia zasilania.

5. Literatura

- [1] Romański W., *Elektroniczne stateczniki lamp fluorescencyjnych z funkcją ściemniania*, praca dyplomowa inżynierska, Katedra Mikroelektroniki i Technik Informatycznych, Politechnika Łódzka, 2011