



## CZUJNIKI POMIAROWE I ELEMENTY WYKONAWCZE

# Ćwiczenie 3a

## Źródła światła

### Zasilanie i charakterystyki diod elektroluminescencyjnych mocy

Ramowy plan pracy

15'	30'	45'	1 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup> 15'	1 <sup>h</sup> 30'	po zajęciach

Opracowanie ćwiczenia i instrukcji:  
Bartosz Pękosławski, Łukasz Starzak, Michał Cyganek

Łódź 2012

wer. 1.0.4. 23.04.2012



## Spis treści

<b>B Wprowadzenie do ćwiczenia.....</b>	<b>5</b>
1. Cel i przebieg ćwiczenia.....	5
2. Podstawy teoretyczne .....	7
2.1. Wprowadzenie .....	7
2.2. Budowa i zasada działania diody elektroluminescencyjnej.....	7
2.3. Zasilanie i sterowanie diod elektroluminescencyjnych .....	9
<b>C Doświadczenie.....</b>	<b>14</b>
3. Pomiary.....	14
3.1. Układ pomiarowy .....	14
3.2. Wykonanie pomiarów .....	16
<b>D Wyniki.....</b>	<b>19</b>
4. Opracowanie i analiza wyników.....	19
<b>E Informacje.....</b>	<b>21</b>
5. Literatura .....	21



## Wprowadzenie do ćwiczenia

---

### 1. Cel i przebieg ćwiczenia

---

Celem ćwiczenia jest poznanie zasady działania układu zasilania diod elektroluminescencyjnych mocy oraz zbadanie charakterystyk prądowo-napięciowych diod o różnych barwach emitowanego światła.



## 2. Podstawy teoretyczne

---

### 2.1. Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój technologii diod elektroluminescencyjnych spowodował, że oferowane obecnie diody dużej mocy posiadają wydajność świetlną porównywalną do wydajności najnowszych świetlówek i ponad dziesięciokrotnie wyższą od wydajności standardowych żarówek. Diody LED są wysokowydajnymi źródłami światła i mają potencjał technologiczny potrzebny, by stać się w przyszłości najbardziej wydajnymi źródłami światła.

Diody elektroluminescencyjne posiadają szereg zalet takich jak duża trwałość i sprawność świetlna, jednak ich upowszechnienie w biurach i gospodarstwach domowych uzależnione jest od szeregu warunków. Jednym z głównych jest możliwość bezpośredniej wymiany lampy żarowej na elektroluminescencyjną. Oznacza to konieczność zasilenia lampy z sieci napięcia przemiennego, co z kolei wymaga zastosowania elektronicznego układu przekształtnikowego zintegrowanego z obudową lampy.

### 2.2. Budowa i zasada działania diody elektroluminescencyjnej [1]

W diodach elektroluminescencyjnych podstawą świecenia jest zjawisko elektroluminescencji zachodzące w materiale półprzewodnikowym. Elektroluminescencja jest jednym z rodzajów luminescencji. U podstaw luminescencji leży zjawisko rekombinacji, czyli jeden ze sposobów przejścia układu z energetycznego stanu wzbudzenia do stanu podstawowego. W stanie podstawowym wszystkie elektrony zajmują w atomach niskie stany energetyczne. Zewnętrzna powłoka atomowa, na której znajdują się te elektrony, tworzy tzw. pasmo walencyjne. W stanie wzbudzenia elektrony w atomach materiału są przeniesione z pasma walencyjnego na wyższe stany energetyczne, czyli do tzw. pasma przewodnictwa. Przeniesienie elektronu do pasma przewodnictwa następuje w wyniku oddziaływania zewnętrznego czynnika wzbudzającego. Czynnikiem wzbudzającym może być:

- temperatura (termoluminescencja),
- reakcja chemiczna (chemiluminescencja),
- oddziaływanie mechaniczne (tryboluminescencja),
- strumień elektronów (elektronoluminescencja),
- strumień fotonów (fotoluminescencja),
- fala ultradźwiękowa (sonoluminescencja),
- zewnętrzne pole elektryczne (elektroluminescencja).

Wzbudzone elektrony dążą do obniżenia swojego stanu energetycznego by pozbyć się nadmiaru energii. Warunkiem tego, by elektron mógł oddać energię przechodząc na niższy poziom energetyczny jest istnienie pustego stanu dozwolonego na niższym poziomie energetycznym oraz

prawdopodobieństwo takiego przejścia większe od zera. Mówiąc inaczej w paśmie walencyjnym musi znajdować się puste miejsce, tzw. dziura, którą elektron może obsadzić. Przejście elektronu ze stanu wzbudzenia do stanu podstawowego, w którym elektron zajmuje miejsce dziury, nazywa się rekombinacją (lub anihilacją) pary elektron-dziura. Różnicę energii sprzed rekombinacji i po rekombinacji elektron może wypromieniować w postaci fali elektromagnetycznej. Mówimy wówczas o rekombinacji promienistej. W sytuacji, gdy czynnikiem który doprowadził do rekombinacji promienistej jest wstrzykiwanie do układu nośników ładunku elektrycznego poprzez oddziaływanie zewnętrznego pola elektrycznego, mamy wówczas do czynienia z elektroluminescencją. Światło widzialne powstaje wtedy, gdy różnica energii pomiędzy pasmem przewodnictwa a pasmem walencyjnym odpowiada energiom fal z zakresu widma widzialnego.

Budowa diody elektroluminescencyjnej sprowadza się do struktury dwóch półprzewodników typu p i n, pomiędzy którymi znajduje się złącze p-n.

Materiał typu p charakteryzuje się nadmiarem dziur w paśmie walencyjnym, natomiast materiał typu n ma w tym paśmie nadmiar elektronów. Przyłożenie do złącza p-n napięcia w kierunku przewodzenia tzn. plus do kontaktu p i minus do kontaktu n powoduje, że do pasma przewodnictwa materiału n będą wstrzykiwane elektrony wzbudzone polem elektrycznym, a do pasma walencyjnego materiału p będą wstrzykiwane dziury. Zarówno dziury w paśmie walencyjnym, jak i elektrony w paśmie przewodnictwa będą unoszone w kierunku złącza obu materiałów siłami zewnętrznego pola elektrycznego. W obszarze złącza p-n zwanym również obszarem aktywnym wzbudzone elektrony będą rekombinować z dziurami i pozbędą się nadwyżki energii emitując foton. Wartość energii fotonu emitowanego przez elektron w czasie rekombinacji jest w przybliżeniu równa różnicy energii między poziomem wzbudzenia, a poziomem podstawowym. Mówiąc inaczej energia fotonu jest w przybliżeniu równa wartości przerwy pomiędzy tymi stanami energetycznymi. Wartość przerwy energetycznej jest wielkością charakterystyczną dla danego materiału półprzewodnikowego. Dzięki wytwarzaniu związków półprzewodnikowych o regulowanym udziale procentowym poszczególnych pierwiastków składowych, możliwe jest wytwarzanie materiałów półprzewodnikowych o przerwach energetycznych odpowiadających energiom fal świetlnych od ultrafioletu po głęboką podczerwień. Daje to możliwość budowy diod LED o określonej długości fali świetlnej. Najczęściej wytwarza się diody: czerwone (630nm), pomarańczowo - czerwone (610nm), bursztynowe (590nm), zielone (525nm), turkusowe (505nm), niebieskie (470nm), granatowe (455nm).

Chipu diody elektroluminescencyjnej składa się z warstwy półprzewodnika typu n, obszaru aktywnego, czyli złącza p-n, warstwy półprzewodnika typu p oraz z pary metalowych kontaktów, które stanowią elektroda dodatnia dochodząca do materiału typu p i elektroda ujemna dochodząca do materiału typu n. Do budowy diod elektroluminescencyjnych można wykorzystać związki półprzewodnikowe z II, III, IV, V, VI grupy układu okresowego Mendelejewa. Przyrządy półprzewodnikowe wykonane na bazie węgla krzemu SiC oraz półprzewodników z grup II i VI tablicy Mendelejewa były wykorzystywane do budowy pierwszych diod elektroluminescencyjnych oraz do badania samego zjawiska elektroluminescencji. Związki te występujące w środowisku naturalnie, charakteryzujące się słabymi parametrami optycznymi doprowadziły do prac nad sztucznymi związkami półprzewodnikowymi, które charakteryzowałyby się lepszymi parametrami elektrycznymi i optycznymi do budowy przyrządów optoelektronicznych. Chodzi tutaj o związki półprzewodnikowe III i V grupy układu okresowego pierwiastków. Spośród tej licznej grupy dotychczas zaadaptowanych na ten cel zostało 7 związków: arsenek galu GaAs, fosforek galu GaP, związek potrójny arsenu, galu i indu AlGaAs, związek potrójny galu, arsenu i fosforu GaAsP oraz związek potrójny indu, galu i azotu InGaN z którego wytwarza się diody emitujące promieniowanie z zakresu ultrafioletu, związek poczwórny glinu, galu, indu i fosforu AlGaInP z którego wytwarza się obecnie najbardziej wydajne diody emitujące światło o barwie czerwonej, pomarańczowej i żółtej a także azotek galu GaN z którego wytwarza się wysokowydajne diody emitujące światło o barwie zielonej i niebieskiej.

Nie jest więc możliwe bezpośrednie uzyskanie światła białego z pojedynczego złącza półprzewodnikowego p-n. Mimo to wytwarza się białe diody elektroluminescencyjne, które odgrywają coraz większą rolę w oświetleniu. Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu jednego z podstawowych praw kolorimetrii, a mianowicie sumowania addytywnego podstawowych barw światła. W wyniku dodania barw światła: czerwonej, zielonej i niebieskiej możliwe jest otrzymanie światła białego. Wychodząc od prawa addytywności barw stosuje się 3 główne metody otrzymywania światła białego w diodach elektroluminescencyjnych:



- metoda mieszania światła kilku barw,
- metoda konwersji długości fali z wykorzystaniem luminoforu,
- metoda hybrydowa będąca połączeniem 2 pierwszych,

Wyróżnić można również 3 metody, które są w fazie rozwoju lub są stosowane na niewielką skalę:

- metoda konwerterów półprzewodnikowych,
- metoda konwerterów organicznych,
- metoda konwerterów z kropek kwantowych.

### 2.3. Zasilanie i sterowanie diod elektroluminescencyjnych [1]

Diody elektroluminescencyjne zasilane są prądem stałym. Napięcie należy do diody przykładać tak, aby pracowała ona w kierunku przewodzenia (napięcie dodatnie do anody i napięcie ujemne do katody). W zależności od szerokości przerwy energetycznej w półprzewodniku, a co za tym idzie w zależności od długości emitowanej fali świetlnej, wymagane są różne poziomy napięcia zasilającego). Ogólnie, im większa energia emitowanych fotonów tym większe jest wymagane napięcie zasilające dla znamionowej pracy. Znamionowe napięcie zasilające diodę elektroluminescencyjną jest to takie, przy którym przez chip płynie znamionowy prąd. Dodatkowo o wartości napięcia zasilania pojedynczej diody decyduje rezystancja szeregową chipu diody. Dlatego najczęściej znamionowe napięcie zasilające diod LED dostępnych na rynku jest większe o od kilku do kilkudziesięciu procent od napięcia przewodzenia idealnej diody nie posiadającej rezystancji szeregową. Kolejnym czynnikiem wymagającym rozważenia przy zasilaniu diod LED jest zależność napięcia przewodzenia diody od temperatury otoczenia. Ze wzrostem temperatury zmniejsza się wartość napięcia, przy którym dioda LED przewodzi. Ze względu na kształt charakterystyki prądowo- napięciowej diody LED oraz zmiany napięcia przewodzenia w zależności od temperatury układ zasilający powinien stanowić stabilne termicznie źródło prądowe. Niewielkie zmiany napięcia zasilającego prowadzą do dużych zmian prądu płynącego przez diodę LED. Pod wpływem gwałtownego wzrostu prądu na skutek wahań napięcia, dioda ulegnie szybkiemu przegrzaniu, a w najgorszym przypadku zniszczeniu.

W przemyśle elektronicznym źródła prądowe są rzadko stosowane a o wiele częściej wykorzystywane są źródła napięciowe. Jednak diody wymagają zasilania prądowego. Najprostszym sposobem rozwiązania tego problemu, często spotykanym w przypadku diod o małej mocy, jest włączenie w szereg z diodą rezystora. Napięcie zasilające wówczas szeregowo połączony rezystor i diodę powinno być większe niż nominalne napięcie zasilające diodę. Na rezystorze odłoży się wówczas napięcie będące różnicą pomiędzy napięciem zasilającym i napięciem przewodzenia diody. Dobierając odpowiednią wartość rezystora, można ustalić wartość prądu, jaki popłynie przez układ. Wadą takiego typu źródła prądowego jest obniżenie sprawności układu ze względu na straty na rezystorze. Jednak prostota tego rozwiązania powoduje że jest ono stosowane. W związku z tym w przypadku większej liczby łączonych diod wyróżnia się 3 podstawowe układy:

- ekonomiczny układ zasilania;

Ekonomiczny układ zasilania charakteryzuje się prostotą oraz najniższym kosztem wykonania. W układzie tym wartość prądu ustala się poprzez dobór wartości rezystora głównego. Zaletą takiego układu jest jego działanie mimo awarii pojedynczych diod, a wadą wzrost wartości prądu płynącego wówczas w sąsiednich gałęziach. Jeżeli diody nie są przystosowane do pracy przy większej wartości prądu, taka sytuacja doprowadzi do ich przyspieszonej degradacji.

- podstawowy układ szeregowo- równoległy;

Podstawowy układ szeregowo-równoległy charakteryzuje się nieznacznie wyższymi kosztami od poprzedniego układu. W każdej gałęzi znajduje się osobny rezystor ustalający wartość prądu w łańcuchu szeregowo połączonych diod. Zaletą takiego rozwiązania jest brak wpływu uszkodzonej diody na pracę diod w pozostałych gałęziach, a wadą to, że w przypadku awarii jednej z nich przestają świecić wszystkie w danej gałęzi.

- bezpieczny układ zasilania;

Bezpieczny układ zasilania jest najbardziej skomplikowany i najbardziej kosztowny. Każda z diod posiada oddzielny, połączony z nią szeregowo rezystor. W przypadku awarii jednej z diod, wartość prądu w pozostałych gałęziach nie wzrasta tak znacząco, jak ma to miejsce w układzie ekonomicznym, dzięki czemu pozostałe diody są znacznie mniej narażone na przeciążenie.

Powyższe 3 rodzaje układów świetnie sprawdzają się w przypadku zasilania zwykłych diod o znamionowym prądzie przewodzenia około 20 mA. Jednak w przypadku rozwiązań bardziej zaawansowanych, gdzie stosowane są już diody elektroluminescencyjne mocy stosuje się dedykowane układy zasilania oparte na układach impulsowych.

Diody elektroluminescencyjne charakteryzują się możliwością zmiany w stosunkowo prosty sposób jasności. Można wyróżnić 3 podstawowe metody sterowania jasnością diod elektroluminescencyjnych:

- zmiana wartości stałego prądu diody;

Jest to najłatwiejszy sposób zmiany jasności diody. W najprostszym przypadku zmiana odbywa się za pomocą potencjometru, który jest włączony szeregowo z diodą zamiast rezystora o stałej wartości. Wadą takiego rozwiązania jest konieczność ręcznego ustawiania potencjometru. Istnieje możliwość zastosowania w miejsce potencjometru analogowego potencjometru cyfrowego lub przetwornika cyfrowo-analogowego. Wówczas sterowanie może odbywać się poprzez sygnał cyfrowy.

- zmiana współczynnika wypełnienia impulsu;

W tej metodzie dioda zasilana jest przebiegiem prostokątnym o regulowanym czasie trwania impulsu i o częstotliwości, przy której oko ludzkie nie zauważa migotania. Źródło prądowe, które zasila diody, jest sterowane sygnałem prostokątnym pochodzącym zwykle z mikroprocesora lub innego układu realizującego funkcję PWM (Pulse Width Modulation). Zaletą tej metody regulacji jest wydłużenie czasu życia diod, a wadą możliwość generacji zaburzeń elektromagnetycznych (EMI).

- zmiana wysokości impulsu przy zasilaniu impulsowym;

W metodzie tej wykorzystywana jest możliwośćysterowania z dużą częstotliwością (od kilku kHz) diod LED krótkotrwałymi impulsami prądu (np. 10% wypełnienia okresu) o wartościach przekraczających kilkakrotnie nominalną wartość prądu diody (na ogół 4 - 6 krotnie). Dioda tak zasilana w momencie otrzymania impulsu prądowego świeci z kilkakrotnie większą intensywnością niż dioda zasilana standardowo. Ze względu na dużą częstotliwość impulsów oko dokonuje sumowania i pomimo pracy impulsowej otrzymujemy pozorny efekt stałego świecenia. Metoda sterowania jasnością w tym przypadku jest niejako połączeniem dwóch poprzednich metod. Jasność reguluje się poprzez zmianę wysokości piku prądu, natomiast sama praca diody jest impulsowa, co ma w konsekwencji przełożenie na wydłużenie się czasu życia diod LED. Warunek w tej metodzie jest taki, aby całkowita ilość energii, która wydzielili się w diodzie w czasie jednego okresu była porównywalna do lub mniejsza od wartości energii wydzielającej się w tym samym odcinku czasu przy pracy stałoprądowej. W innym wypadku dioda będzie się przegrzewać. Ze względu na duże gęstości prądu płynącego przez diodę w impulsie metoda sterowania impulsowego nie jest zalecana dla diod LED mocy (1W i wzwyż). Duży prąd impulsu w przypadku diod mocy może doprowadzić do uszkodzenia połączenia chipu diody z elektrodami.

Producenci układów scalonych posiadają bardzo bogatą ofertę specjalizowanych układów scalonych przeznaczonych do aplikacji oświetleniowych. Układy do zasilania i sterowania diodami LED dużej mocy oferuje wiele firm. Przykładem jest układ LNK306 firmy Power Integrations.

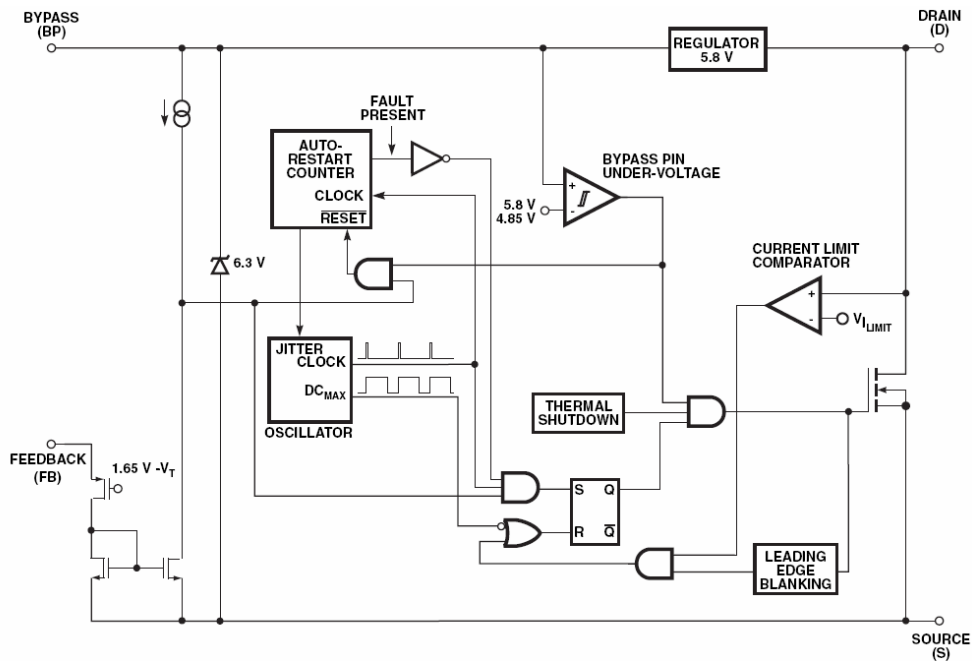
Układ LNK306 wchodzi w skład rodziny LinkSwitch-TN. Układy LinkSwitch-TN to jedyne układy w ofercie firmy Power Integrations przystosowane do pracy w konfiguracji bez separacji galwanicznej obwodu wejściowego od wyjściowego. Rodzina ta jest dedykowana do aplikacji z oświetleniem elektroluminescencyjnym. W skład rodziny LinkSwitch-TN wchodzi układy LNK302...LNK306. Umożliwiają one realizację zasilaczy bez separacji galwanicznej w topologiach obniżającej i odwracającej napięcie o prądach wyjściowych z przedziału od 60 do 360 mA i dla mocy wyjściowych od 1 do 4 W.

Główne cechy układów z serii LinkSwitch - TN są następujące:

- praca w szerokim zakresie napięć wejściowych 85 – 256 V (wartość skuteczna przemiennej napięcia sieci),

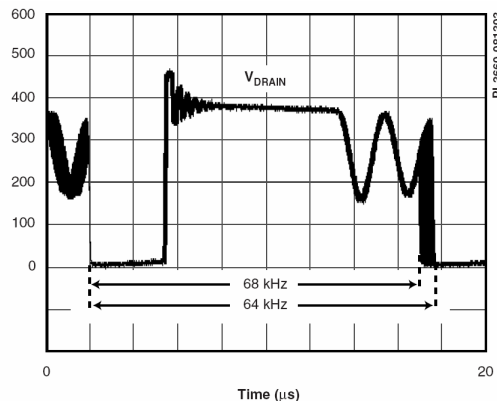
- niewielka liczba koniecznych zewnętrznych podzespółów co wpływa na prostotę i mały koszt,
- wbudowana funkcja ponownego uruchomienia w przypadku zwarcia obciążenia czy otwarcia pętli sprzężenia zwrotnego,
- wbudowane zabezpieczenie termiczne o progu zadziałania 135 °C,
- częstotliwość kluczowania 66 kHz z fluktuacją częstotliwości (jitter) redukującą poziom zaburzeń elektromagnetycznych (~10 dB),
- sprawność 75% dla napięcia wyjściowego równego 12 V.

Układy z rodziny LinkSwitch-TN zawierają w sobie kluczujący wysokonapięciowy tranzystor MOSFET oraz obwód sterowania. Obwód sterowania w układach LinkSwitch-TN (rys. 1) składa się z oscylatora, wejściowego obwodu sprzężenia zwrotnego, regulatora 5,8 V, zabezpieczenia podnapięciowego, zabezpieczenia termicznego, obwodu ograniczenia prądowego i obwodu automatycznego ponownego uruchomienia (auto – restart).



Rys. 1. Budowa funkcjonalna układu scalonego LNK306

Oscylator jest wewnętrznie ustawiony na częstotliwość 66 kHz. Generuje on dwa sygnały: sygnał maksymalnego wypełnienia impulsów  $DC_{max}$  i sygnał zegarowy, który wskazuje początek każdego kolejnego okresu. Oscylator zawiera obwód, który wprowadza niewielkie fluktuacje częstotliwości (4 kHz) w celu minimalizacji zakłóceń elektromagnetycznych (EMI). Funkcja ta polega na modulacji częstotliwości oscylatora, w wyniku, czego uzyskuje się rozmycie widma emitowanych zakłóceń w stosunku do układu o stałej częstotliwości pracy (redukcja o około 10 dB $\mu$ V). Obrazuje to rys. 2.



Rys. 2. Fluktuacja częstotliwości (jitter)

Wejściowy obwód sprzężenia zwrotnego składa się z niskoimpedancyjnego źródła napięcia o stałej wartości 1,65 V i znajdującego się na wejściu pinu FB. Kiedy dostarczony do tego pinu prąd przekracza 49  $\mu\text{A}$ , niski poziom logiczny zostaje ustawiony na wyjściu obwodu sprzężenia zwrotnego. Jeśli zaś nie przekracza 49  $\mu\text{A}$ , to na wyjściu obwodu sprzężenia zwrotnego zostaje ustawiony stan wysoki. To wyjście jest sprawdzane na początku każdego okresu sygnału zegarowego, na narastającym zboczcu sygnału zegarowego. Sprawdzanie tego wyjścia jest przeprowadzane tylko na początku każdego okresu, jakiegokolwiek zmiany na pinie FB podczas pozostałej części okresu są ignorowane. Jeśli wykryty zostanie na tym wyjściu stan wysoki, to tranzystor kluczujący zostanie załączony na cały okres sygnału zegarowego, co powoduje, że do wyjścia przetwornicy dostarczona jest moc z wejścia przetwornicy. Jeśli zaś wyjście obwodu sprzężenia zwrotnego znajduje się w stanie niskim, to tranzystor kluczujący jest przez cały okres wyłączony i przetwornica nie dostarcza do wyjścia mocy z wejścia. Tym samym w omawianej rodzinie układów realizowane jest sterowanie grupowe (ang. on/off control) (rys. 3). Regulacja ta umożliwiła zapewnienie stabilnej pracy pętli sprzężenia zwrotnego bez konieczności stosowania dodatkowych elementów kompensacyjnych.

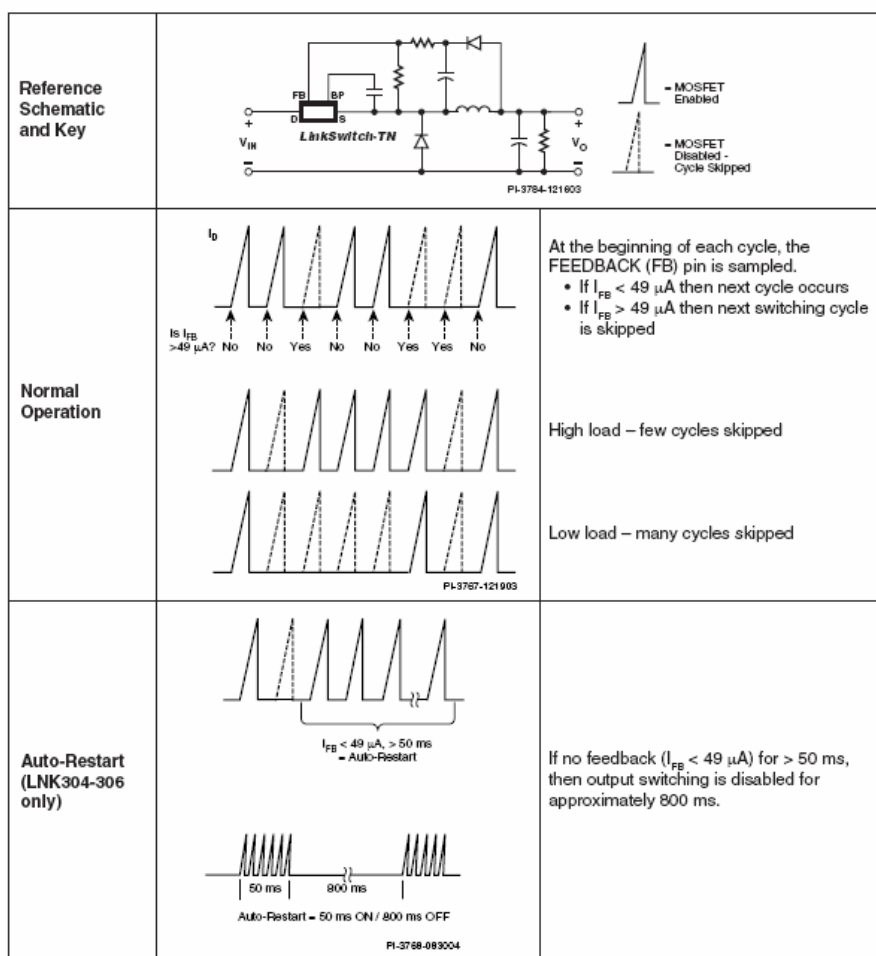


Table 6. LinkSwitch-TN Operation.

Rys. 3. Idea działania układu scalonego LNK306

Regulator 5,8 V pobiera ładunek z kondensatora dołączonego do pinu BP kiedy tylko tranzystor kluczujący jest wyłączony. Kiedy tranzystor kluczujący jest załączony, układ nie pobiera energii zgromadzonej w kondensatorze podłączonym do pinu BP. Wówczas bardzo mały pobór prądu pozwala układowi działać na prądzie pobieranym z pinu D. Kondensator dołączony do pinu BP powinien mieć wartość 0,1  $\mu\text{F}$ , co wystarcza do zapewnienia odpowiedniej pracy układu.

Obwód zabezpieczenia podnapięciowego wyłącza tranzystor kluczujący MOSFET, kiedy napięcie na pinie BP spadnie poniżej 4,85 V. Kiedy napięcie na pinie BP spadnie poniżej 4,85 V, to aby umożliwić ponownie pracę tranzystora kluczującego, musi ono wzrosnąć do 5,8 V.

Obwód ograniczenia prądowego wykrywa prąd płynący przez tranzystor kluczujący. Kiedy prąd ten przekroczy wewnętrzny próg prądu  $I_{LIMIT}$  (rys. 4), tranzystor zostaje wyłączony na pozostałą część okresu.

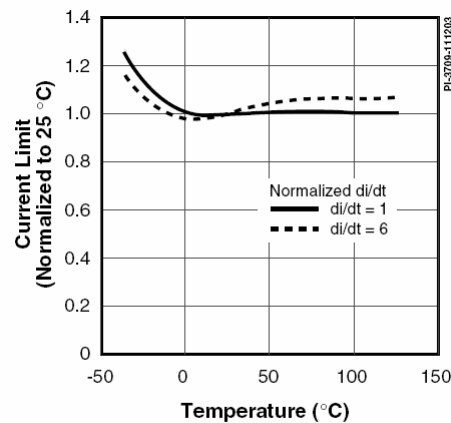


Figure 12. Current Limit vs. Temperature at Normalized di/dt.

Rys. 4. Prąd ograniczenia prądowego w funkcji temperatury

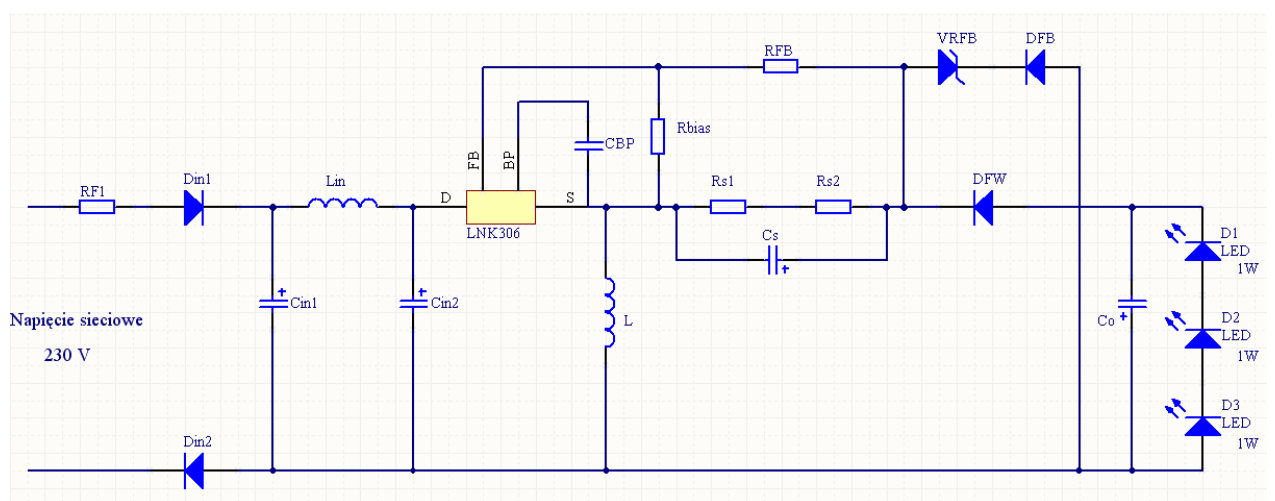
Podczas przeciążenia wyjścia uaktywnia się blok automatycznego ponownego uruchomienia. Kluczowanie tranzystora zostaje zablokowane na 800 ms. Funkcja ta umożliwia wyłączenia tranzystora kluczującego dopóki warunki przeciążenia nie ustąpią.

### 3. Pomiar

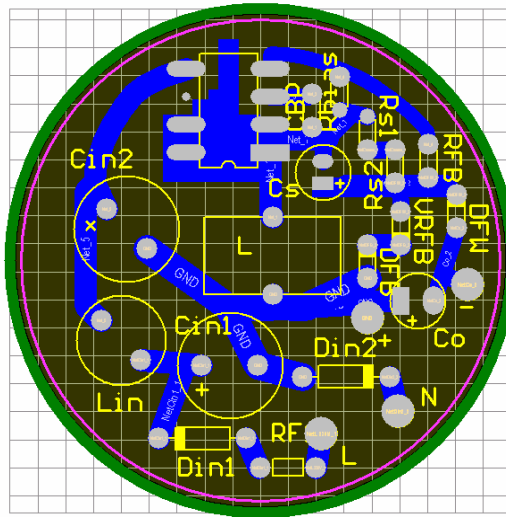
#### 3.1. Układ pomiarowy

Układ pomiarowy, którego schemat jest pokazany poniżej, składa się z układu zasilania opartego o układ LNK306 firmy Power Integrations i trzech diod elektroluminescencyjnych serii LUXEON K2 firmy Philips, każda o mocy 1W:

- dioda czerwona LXX2-PD12,
- dioda niebieska LXX2-PB12,
- dioda zielona LXX2-PM12.



Rys. 5. Schemat układu pomiarowego



Rys. 6. Obwód drukowany układu zasilania

### 3.2. Wykonanie pomiarów

1. Połączyć układ pomiarowy z równolegle połączonymi woltomierzem i rezystorem regulowanym  $25\ \Omega$ ,  $5,1\text{A}$ , w szeregu z rezystorem  $10\ \Omega$ ,  $10\text{W}$  i amperomierzem, na wyjściu zamiast diod. Zasilanie układu podłączyć do wyjścia transformatora ochronnego. Nie włączać zasilania. Poprosić prowadzącego o sprawdzenie połączeń.
2. Włączyć zasilanie. Zmieniając położenie suwaka rezystora regulowanego, dla  $8\div 10$  wartości napięcia wyjściowego w zakresie od 4 do 11 V zmierzyć prąd wyjściowy. W razie potrzeby dodać dodatkowo rezystor szeregowy (po uprzednim wyłączeniu zasilania układu).

**Ze względu na występowanie w układzie pomiarowym napięć grożących porażeniem należy zachować szczególną ostrożność przy wykonywaniu pomiarów (w szczególności nie wolno dotykać układu przy włączonym zasilaniu; układ powinien być ułożony w bezpiecznym miejscu, w bezpiecznej od metalowych elementów, obudów urządzeń laboratoryjnych, itp.).**

3. Wyłączyć zasilanie. Odłączyć mierniki i rezystor regulowany. Na wyjściu układu podłączyć diody (zwracając uwagę na polaryzację napięcia). Zasilanie układu podłączyć do wyjścia programowalnego źródła AC poprzez transformator ochronny (nie włączać zasilania). Na wejściu układu podłączyć sondę napięciową  $100\times$  (czerwona) oraz założyć sondę prądową. Na wyjściu układu podłączyć sondę napięciową  $10\times$ . Masy obu sond należy przyłączyć do wspólnego punktu w układzie – dodatniego zacisku napięcia wyjściowego. Poprosić prowadzącego o sprawdzenie połączeń.
4. Ustawić ograniczenie prądowe na źródle AC równe 2A. Włączyć zasilanie układu (przycisk OUT źródła AC – gdy świeci się zielona kontrolka, na wyjściu źródła AC znajduje się zadane napięcie).
5. Włączyć i skonfigurować oscyloskop. Wybrać wyzwalanie automatyczne (Trigger > Mode > Auto), źródło wyzwalania – kanał z przyłączoną sondą mierzącą napięcie wejściowe, wyzwalanie z boczem narastającym. Kanały oscyloskopu skonfigurować w trybie DC, ustawić tłumienie sond ( $1:100$ ,  $1:10$  i  $1:1$ ), dostosować wzmocnienie kanałów i podstawę czasu (około  $20\ \text{ms/div}$ ). Na kanale z przyłączoną sondą napięciową  $1:10$  włączyć odwracanie przebiegu (invert on).
6. Zmieniając napięcie zasilania od 230 V do minimalnego, przy którym diody świecą stabilnie, dla  $4\div 6$  wartości napięcia odczytać/zarejestrować:
  - napięcie wejściowe (miernik źródła AC),
  - współczynnik mocy (miernik źródła AC),
  - wartość skuteczną prądu wejściowego (miernik źródła AC),
  - przebiegi napięcia i prądu wejściowego,
  - moc czynną wejściową (mnożąc w programie zarejestrowane przebiegi napięcia i prądu wejściowego, pamiętając o zarejestrowaniu co najmniej 5 pełnych okresów),
  - przebiegi napięcia i prądu wyjściowego (po przełożeniu sondy prądowej na przewód wyjściowy przy wyłączonym zasilaniu układu – przycisk OUT źródła AC i po dostosowaniu wzmocnienia kanału oraz zmniejszeniu podstawy czasu do około  $50\ \mu\text{s/div}$ ),
  - moc czynną wyjściową (mnożąc w programie zarejestrowane przebiegi napięcia i prądu wyjściowego, pamiętając o zarejestrowaniu co najmniej 5 pełnych okresów).

Przebiegi należy zapisać w formacie programu Wavestar (SHT) oraz wyeksportować do pliku .csv

Wymnożenie dwóch przebiegów przez siebie w programie Wavestar umożliwia arkusz *Power Harmonics*. Jeżeli przebiegami tymi będą prąd  $i$  płynący między węzłami obwodu oraz napięcie  $u$  między tymi węzłami, uzyskany iloczyn  $i\cdot u$  z definicji będzie mocą chwilową  $p$  wydzielaną w elementach znajdujących się między tymi węzłami. Aby użyć arkusza *Power Harmonics* do obliczenia przebiegu chwilowej mocy należy do okienka *Current Waveform* na dole arkusza *Power Harmonics* przeciągnąć przebieg prądu i z panelu bocznego, a do okienka *Voltage Waveform* przeciągnąć przebieg napięcia.

7. Wyłączyć zasilanie. Odłączyć diody od układu.



8. Ustawić zasilacz regulowany w tryb niezależnej pracy jego sekcji (Independent). Włączyć zasilacz. Ustawić ograniczenie prądowe na około 350 mA (korzystając z rezystora regulowanego). Skręcić pokrętkę regulacji napięcia do minimum. Wyłączyć zasilacz.
9. Przyłączyć diody do zasilacza regulowanego łącząc je w szereg z rezystorem 4,7  $\Omega$ , 10 W i amperomierzem (nie włączając zasilacza). Poprosić prowadzącego o sprawdzenie połączeń.
10. Zmieniając napięcie zasilacza od 0 do maksymalnej, przy której nie włącza się ograniczenie prądowe zasilacza (należy kontrolować prąd za pomocą amperomierza, nie dopuszczając do jego wzrostu ponad 0,35 A), zmierzyć spadek napięcia na każdej z diod i zanotować wartość prądu.

**Ze względu na delikatną budowę układu diod należy w ostrożny sposób przyłączać sondy woltomierza (wydłużone chwytaki haczykowe do wyprowadzeń diod lub sondy igłowe dotykane do punktów lutowniczych od strony ścieżek drukowanych) do danej diody i unikać „zgniatania” diod przy odwracaniu układu.**

11. Wyłączyć zasilanie.
12. Rozłączyć układ pomiarowy.



### 4. Opracowanie i analiza wyników

---

1. Uruchomić pakiet do obliczeń numerycznych Scilab.
2. Aby w dalszym ciągu pracy nie wpisywać za każdym razem pełnej ścieżki dostępu do plików z danymi pomiarowymi (pliki programu WaveStar), można zmienić katalog roboczy na katalog zawierający te pliki, wpisując polecenie

```
cd('ścieżka_dostępu_do_pomiarów');
```

3. Wczytać skrypt zawierający funkcje potrzebne do obliczenia całki mocy chwilowej po czasie (ćwiczenie 3b, laboratorium PiUM) wpisując polecenie (w razie potrzeby należy dodać ścieżkę dostępu do pliku)

```
exec('wavestar_calka.sce');
```

4. Odczytać wyeksportowane dane poleceniem

```
[naglowek,dane]=wczytaj_ws('nazwa_pliku.csv');
```

5. Obliczyć energię  $W$  jako całkę przebiegu  $p$  za przedział od  $t1$  do  $t2$  (różnica równa okresowi  $T$ ), z uwzględnieniem mnożnika sondy prądowej  $ki$ , wydając polecenie

```
calka_infsup(dane,numer_przebiegu_p,t1,t2,p0,ki)
```

Parametr numer\_przebiegu to numer kolejny przebiegu  $p$  zgodnie z rosnącą numeracją w programie WaveStar (nie numer kanału oscyloskopu). Np. jeżeli w programie WaveStar wyświetlane są: 2)  $u$ , 3)  $i$ , 5)  $p$ , to przebieg  $p$  jest trzecim z kolei, należy więc podać numer\_przebiegu = 3; jeżeli zaś numeracja zaczyna się od 1 i nie ma „dziur”, to numer\_przebiegu jest identyczny jak w programie WaveStar.

Parametr  $p0$  pozwala uwzględnić przesunięcie poziomu zera przebiegu  $p$  spowodowane niedokładnością sondy prądowej. Jeżeli przesunięcie jest niewielkie w porównaniu z amplitudą mocy  $p$  należy wpisać 0.

6. Obliczyć średnią moc wejściową/wyjściową dzieląc energię  $W$  przez okres  $T$ .
7. Powtórzyć punkty 1-6 dla wszystkich zebranych przebiegów mocy wejściowej i wyjściowej.
8. Wyznaczyć charakterystykę wyjściową układu  $U_{wy}(I_{wy})$
9. W jakim przedziale napięć wyjściowych zapewniona jest stabilizacja prądu?
10. Dla pomiarów z punktu 3.2.4 policzyć współczynnik mocy (na podstawie pomiarów oscyloskopowych), sprawność układu (wyliczoną na podstawie obliczonej mocy wejściowej z pomiarów oscyloskopowych) oraz współczynnik tętnień napięcia i prądu wyjściowego (dzieląc wartość średnią i międzyszczytową).
11. Zebrać wyniki w tabeli i porównać wartości współczynnika mocy i sprawności układu obliczone (pomiar oscyloskopowy) i zmierzone za pomocą miernika źródła AC. Wyjaśnić ewentualne różnice.
12. Wyznaczyć charakterystyki sprawności, współczynnika mocy, współczynników tętnień napięcia i prądu wyjściowego w zależności od wartości napięcia zasilania. Sformułować wnioski.
13. Wyznaczyć charakterystyki prądowo-napięciowe dla każdej z diod. Sformułować wnioski.

### 5. Literatura

---

- [1] Cyganek M., *Przekształtnik napięcia przemiennego 230 V na niskie napięcie stałe o bardzo małych gabarytach*, praca dyplomowa magisterska, Katedra Mikroelektroniki i Technik Informatycznych, Politechnika Łódzka, 2011.