



Studia Podyplomowe

EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ

w ramach projektu

**Śląsko-Małopolskie Centrum Kompetencji
Zarządzania Energią**

**Diody świetlne w systemach oświetlenia.
Energooszczędne systemy zasilania
z wyładowczymi źródłami światła**

Dr hab. inż. Robert Stala



Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

Robert Stala

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie ,
Katedra Automatyki Napędu i Urządzeń Przemysłowych

E-mail: stala@agh.edu.pl

EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ

- Diody świetlne w systemach oświetlenia.
- Energooszczędne systemy zasilania z wyładowczymi źródłami światła



- NOWOCZESNE METODY GENEROWANIA ŚWIATŁA,
- SPOSOBY ZASILANIA LAMP WYŁADOWCZYCH I LED,
- ZAGADNIENIA ZWIĄZANE Z ENERGOOSZCZĘDNOŚCIĄ I TRWAŁOŚCIĄ LAMP.

Ok. 24% energii w USA jest zużywane na oświetlenie.

Oszczędność energii w energoelektronicznych systemach:

-LED (SLL - Solid-state LED) – lampy i systemy:

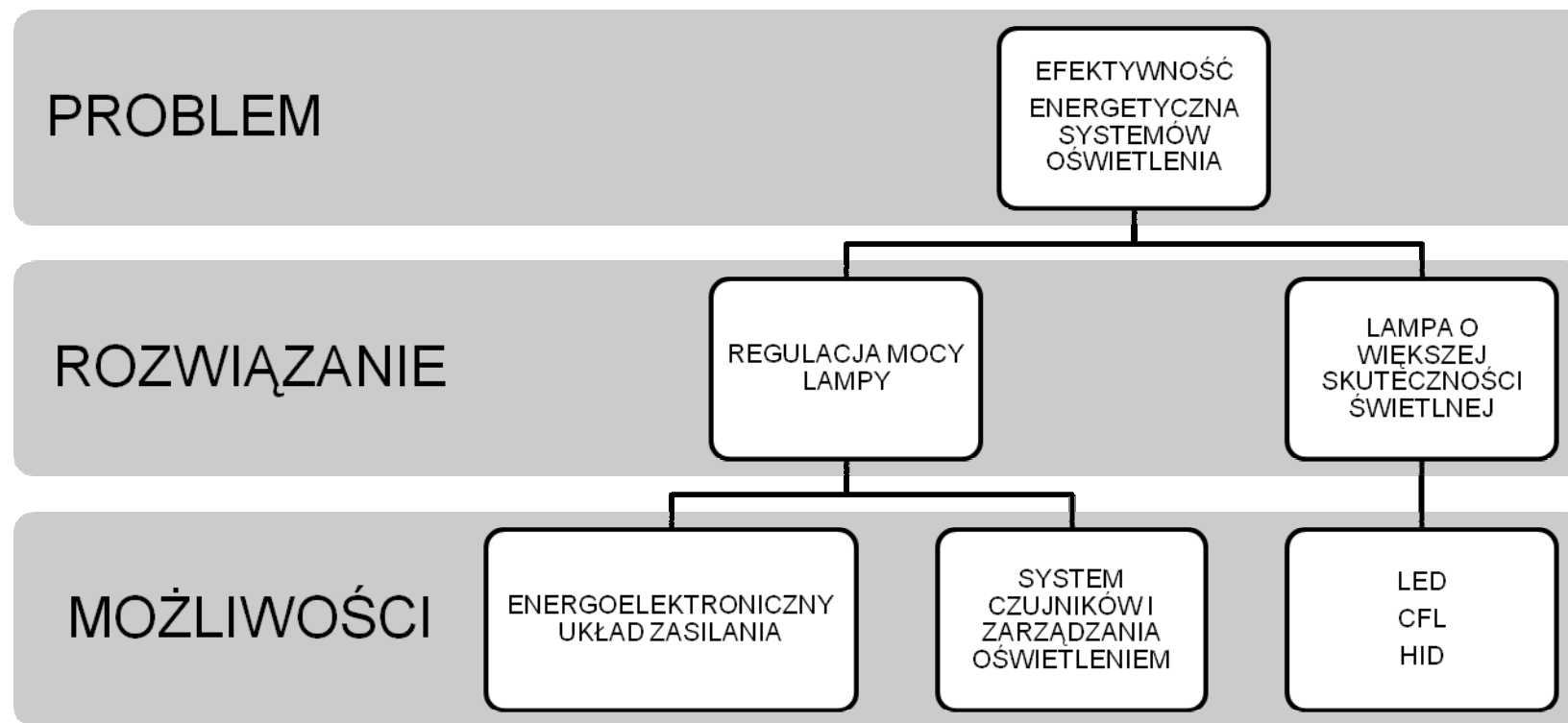
- bardzo duża sprawność,
- bardzo duża trwałość,
- bardzo dobre własności regulacyjne strumienia świetlnego.

-CFL (Compact fluorescent lamps) ze statecznikiem elektronicznym :

- ok. 4-krotnie większa sprawność od żarówki,
- znacznie większa trwałość niż lampy inkadescencyjne,
- możliwość kontroli strumienia świetlnego.

EFEKTYWNOŚĆ ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.



BUDOWA LAMPY INKADESCENCYJNE - ŻAROWE

TYPOWE PARAMETRY STANDARDOWEJ LAMPY ŻAROWEJ

MOC: 65W

LUMINANCJA: 926 [lm]

CZAS UŻYTKOWANIA: 1000h

CRI: 100

ZAKRES REGULACJI STRUMIENIA: 100%-0%

SKUTECZNOŚĆ ŚWIETLNA: OK. 14lm/W

KOSZT LAMPY: 0.5USD

Źródło:

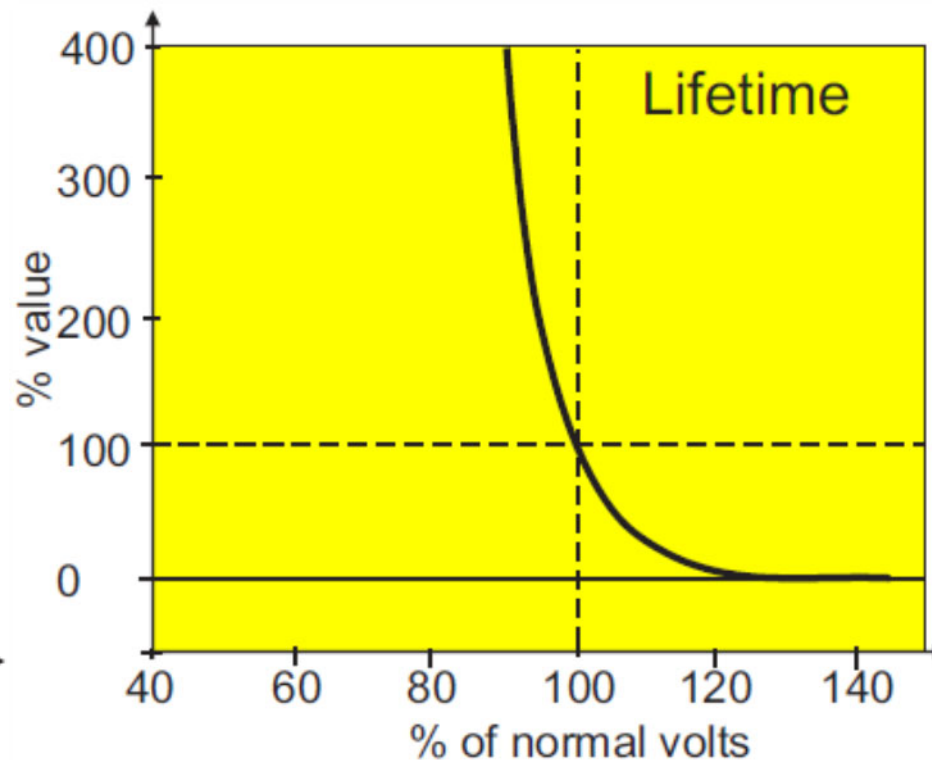
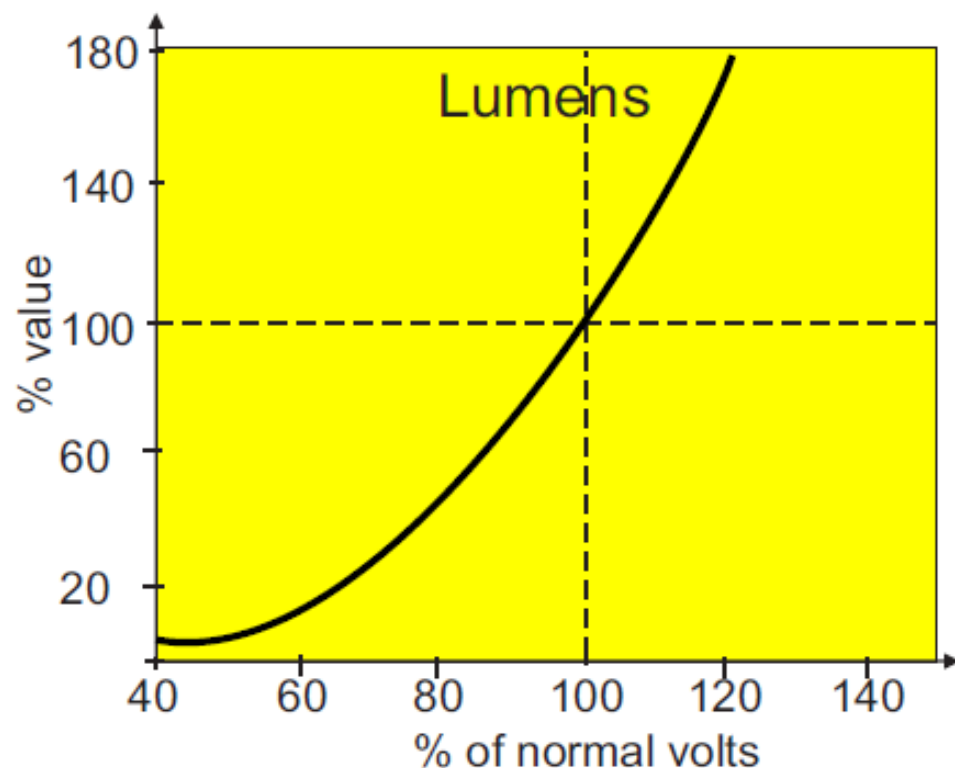
I. L. Azevedo, M. G. Morgan, and F. Morgan, „The Transition to Solid-State Lighting”, Proceedings of the IEEE, Vol. 97, 2009, No. 3, March 2009

LAMPY INKADESCENCYJNE (Żarowe)

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

WPŁYW NAPIĘCIA ZASILAJĄCEGO

Zmiana parametrów światła i trwałości:



BUDOWA

Są to niskociśnieniowe lampy wyładowcze, w których światło widzialne generowane jest w luminoforze przez pobudzenie promieniowaniem ultrafioletowym, które powstaje przez wyładowania w oparach rtęci (z niewielką domieszką inert dla startu lampy).

Przy odpowiednim napięciu dołączonym do lampy płynie prąd w parach rtęci generując promieniowanie UV (głównie 254, 313, 405, 436, 546 i 578 nm).

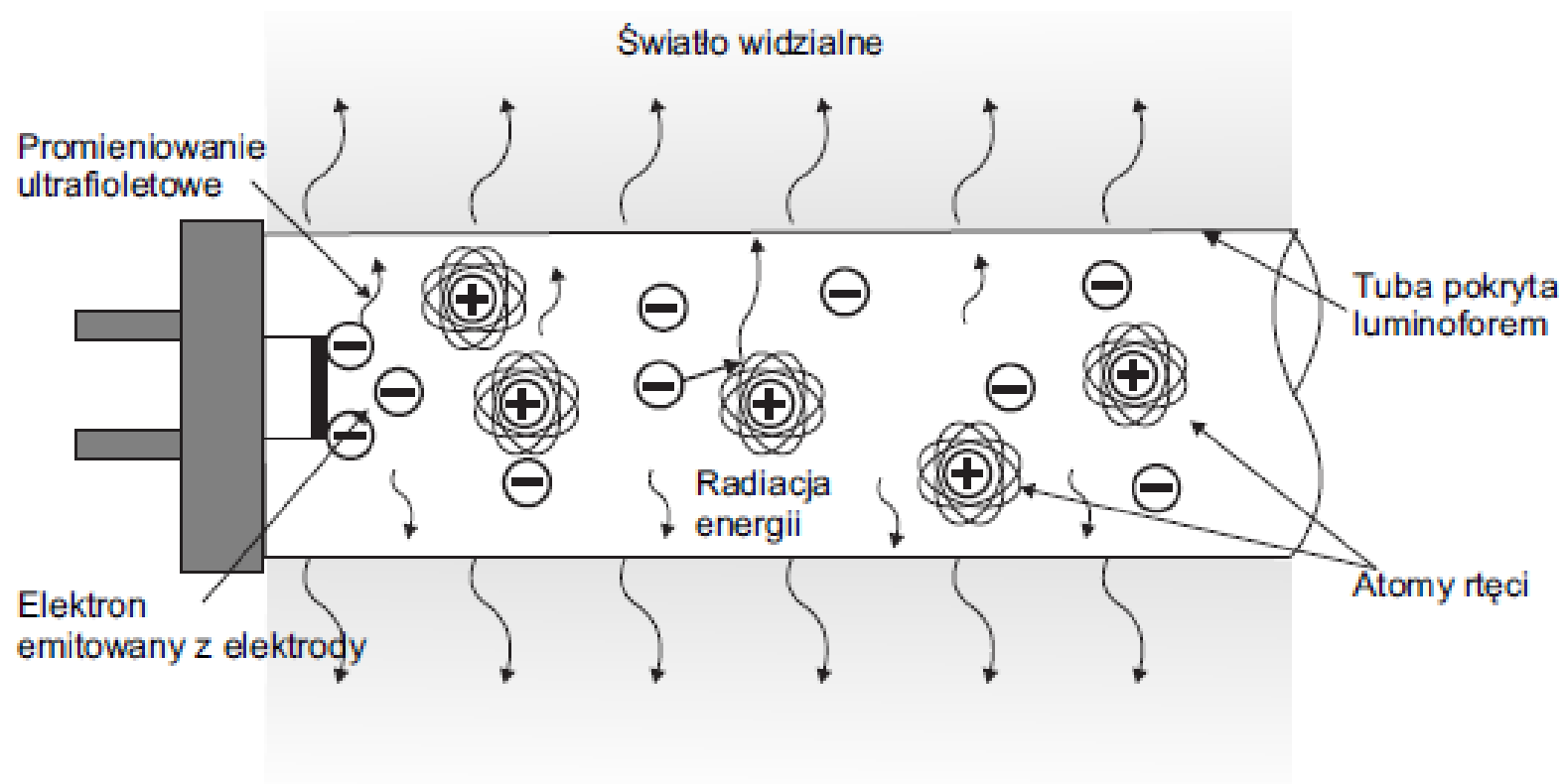
Największa czułość luminoforu występuje dla 254nm.

LAMPY FLUORESCENCYJNE

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

BUDOWA

Jonizacja par rtęci:



LAMPY FLUORESCENCYJNE

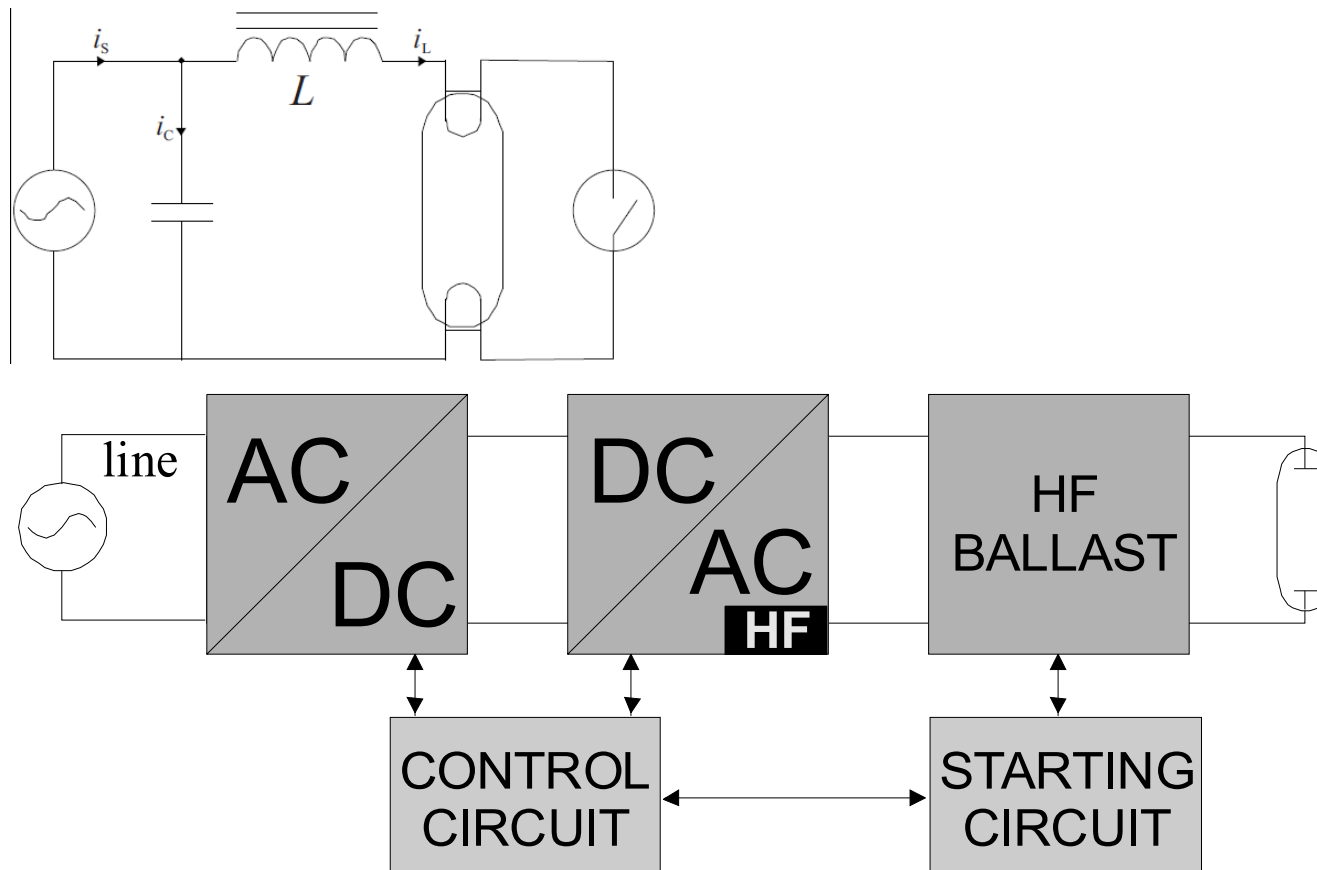
Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

CHARAKTERYSTYKA NAPIĘCIOWO-PRĄDOWA ŚWIETŁÓWKI

Lampa wyładowcza ma nieliniową rezystancję.

Lampy nie można dołączyć do źródła napięcia.

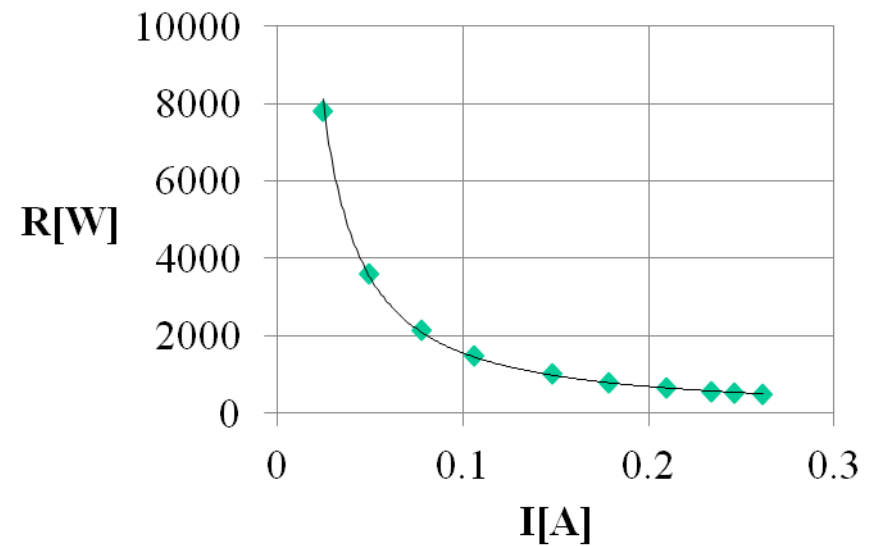
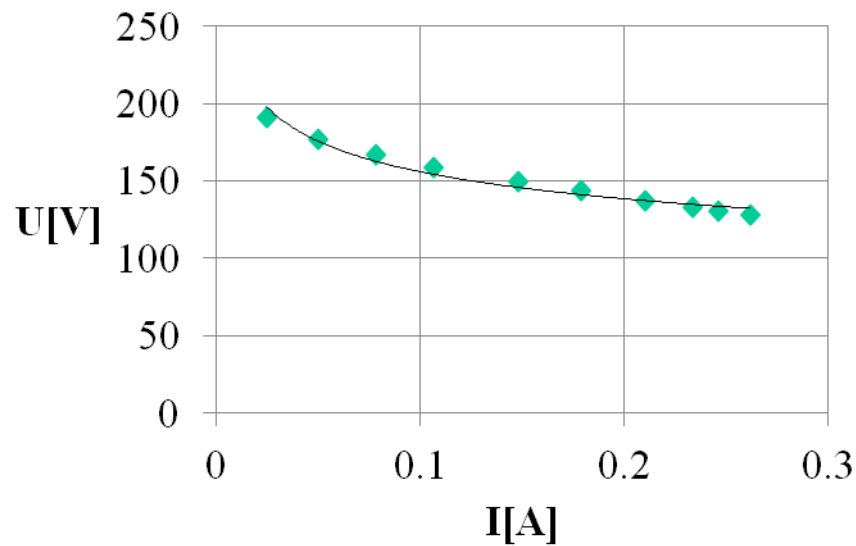
Prąd lampy musi być ograniczany. zewnętrznymi elementami.



LAMPY FLUORESCENCYJNE

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

CHARAKTERYSTYKA NAPIĘCIOWO-PRĄDOWA ŚWIETŁÓWKI



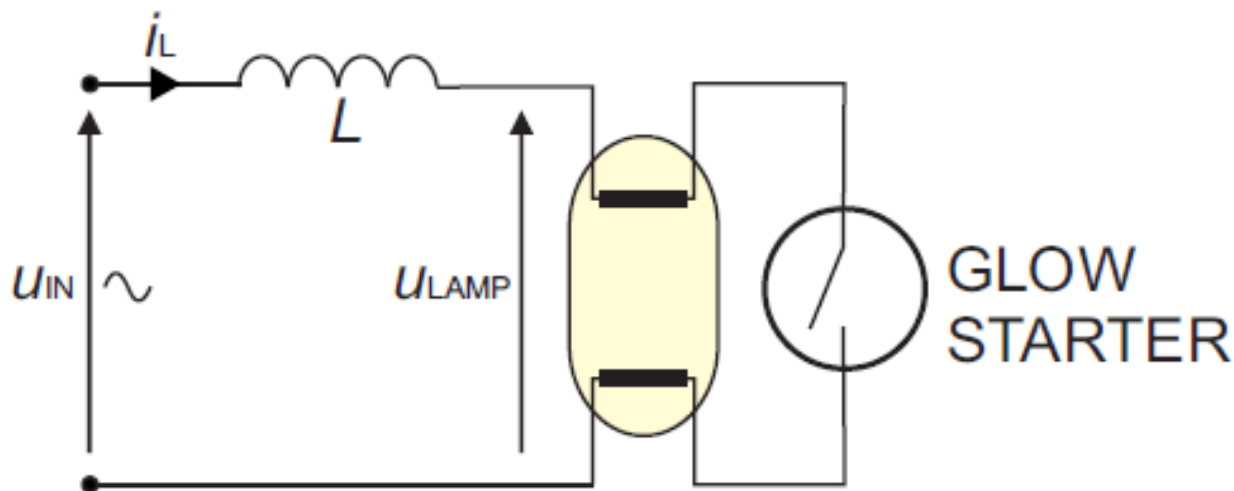
Lampa wyładowcza ma ujemną rezystancję różnicową.

LAMPY FLUORESCENCYJNE

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

ELEKTROMAGNETYCZNY OBWÓD ZAPŁONOWO STABILIZUJĄCY ELECTROMAGNETIC BALLAST

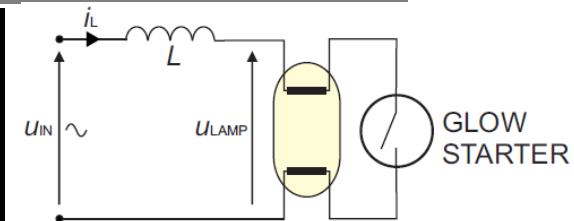
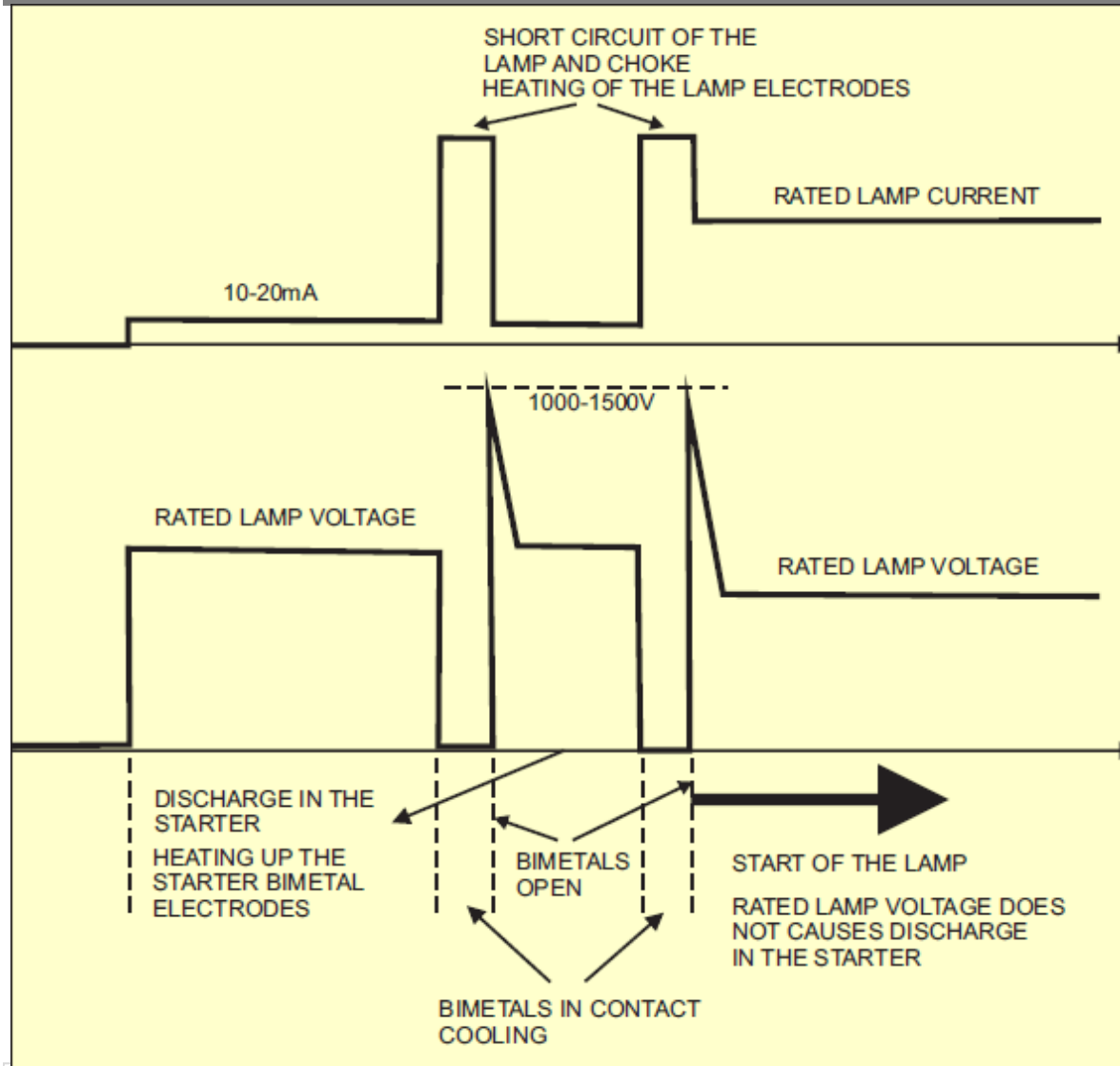
STARTER (zapłonnik) – dwa metale o innej charakterystyce odkształceń cieplnych, odpowiednio ukształtowane, tak aby przy zwiększaniu temperatury nastąpił kontakt galwaniczny. Bańka wypełniona jest gazem szlachetnym w którym następują wyładowania przy odpowiednio wysokim napięciu.



LAMPY FLUORESCENCYJNE

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

ELEKTROMAGNETYCZNY OBWÓD ZAPŁONOWO STABILIZUJĄCY ELECTROMAGNETIC BALLAST



Start lampy fluorescencyjnej

W klasycznym układzie elektromagnetycznym:

- brak regulacji strumienia świetlnego,
- wymagana poprawa współczynnika mocy

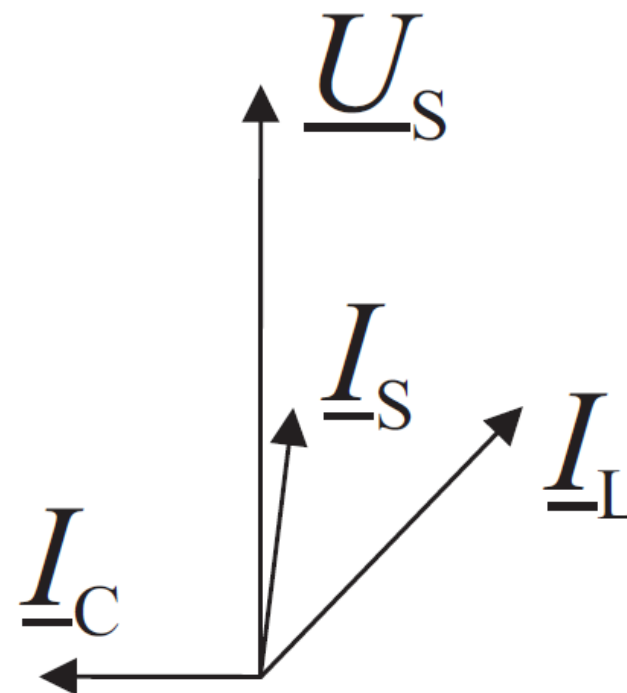
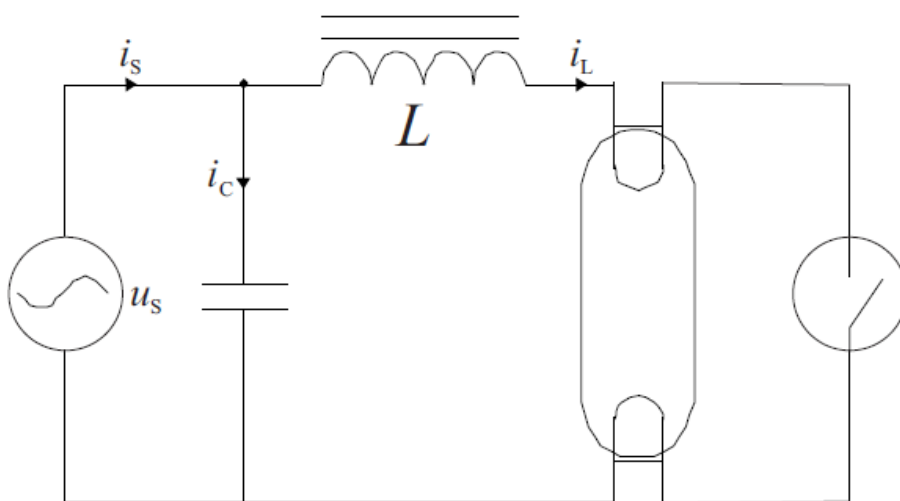
Ilustracja na podstawie: OSRAM, „Guide to Starters”,

LAMPY FLUORESCENCYJNE

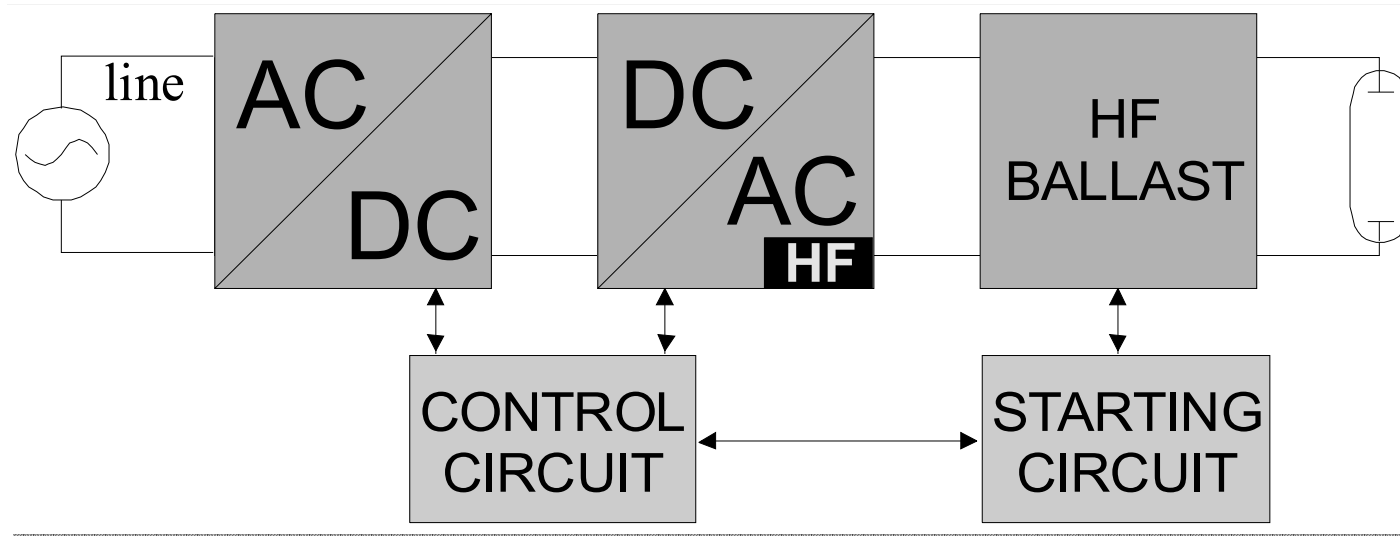
Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

ELEKTROMAGNETYCZNY OBWÓD ZAPŁONOWO STABILIZUJĄCY ELECTROMAGNETIC BALLAST

Współczynnik mocy



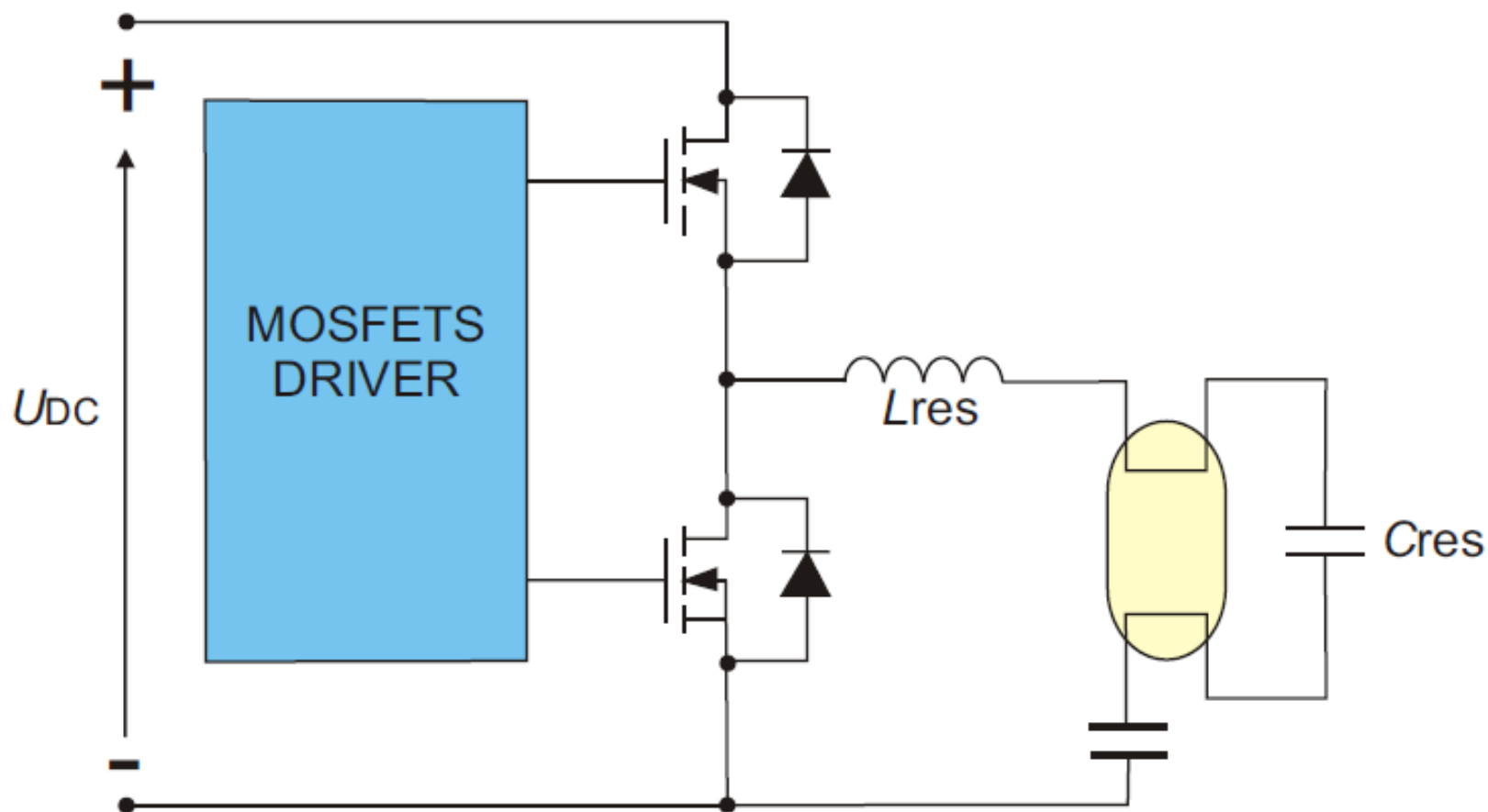
ELEKTRONICZNY OBWÓD ZAPŁONOWO STABILIZUJĄCY ELECTRONIC BALLAST



Podstawowe cechy systemu zasilania:

- Częstotliwość pracy: $> 20 \text{ kHz}$ dla uniknięcia słyszalnych częstotliwości.
- Prąd lampy w stanie ustalonym (Aby uzyskać maksymalny czas życia lampy): Symetryczny przemienny o stosunku wartości maksymalnej do skutecznej < 1.7 .
- Procedura startowa: Dostosowana do lampy (gorąca czy zimna katoda)
- Ściemnianie. Zmiana wartości prądu lampy realizowana przez zmianę częstotliwości falownika, czyli zmianę impedancji w obwodzie lampy.

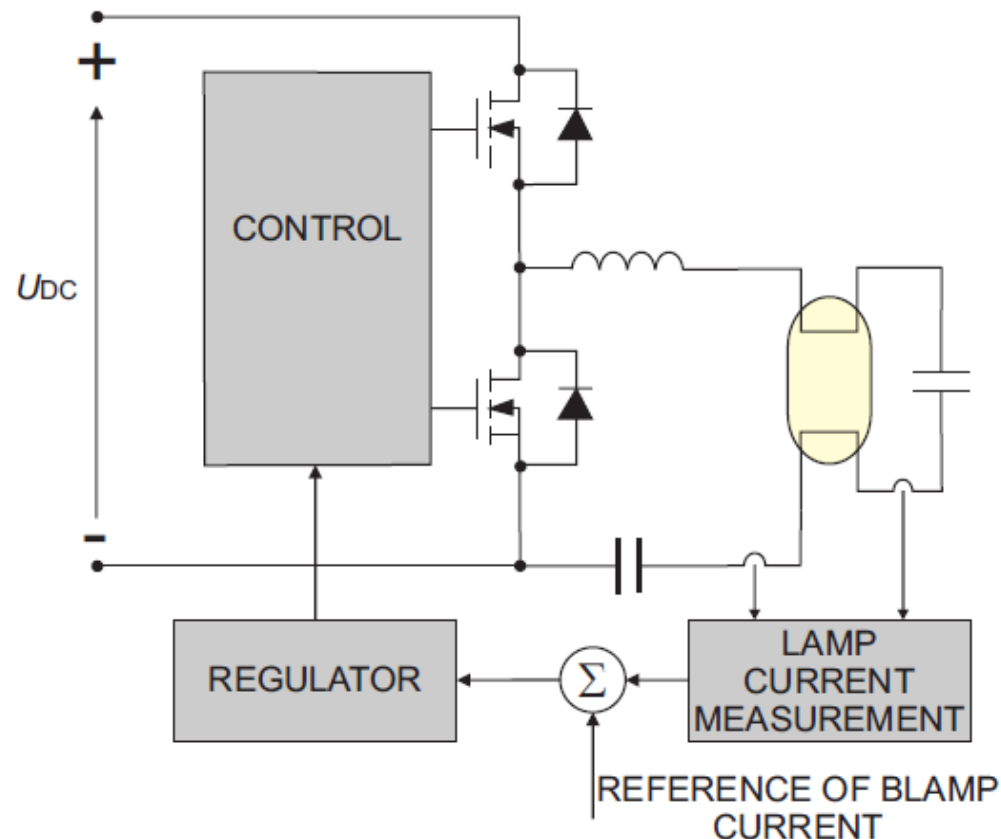
Półmostkowy falownik:



METODY STARTU LAMP FLUORESCENCYJNYCH

Programmed start electronic ballasts:

- Wykorzystuje cechy metod: rapid start i instant start.
- Kontrola podgrzewania elektrod i napięcia zapłonu lampy.
- Możliwa kontrola prądu lampy w czasie pracy

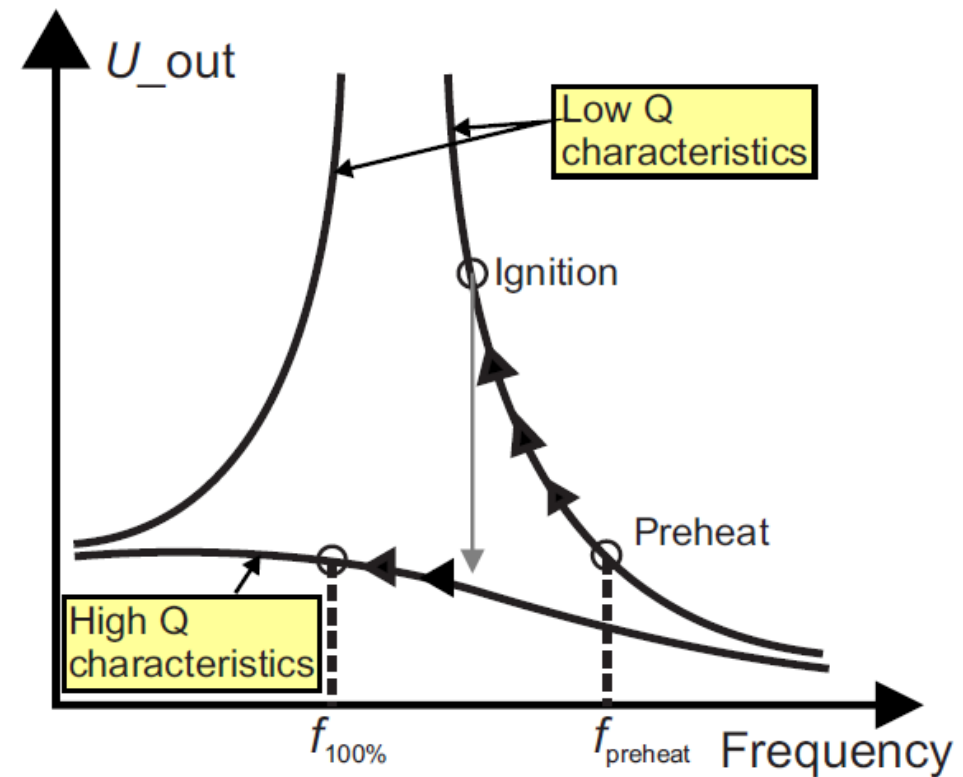
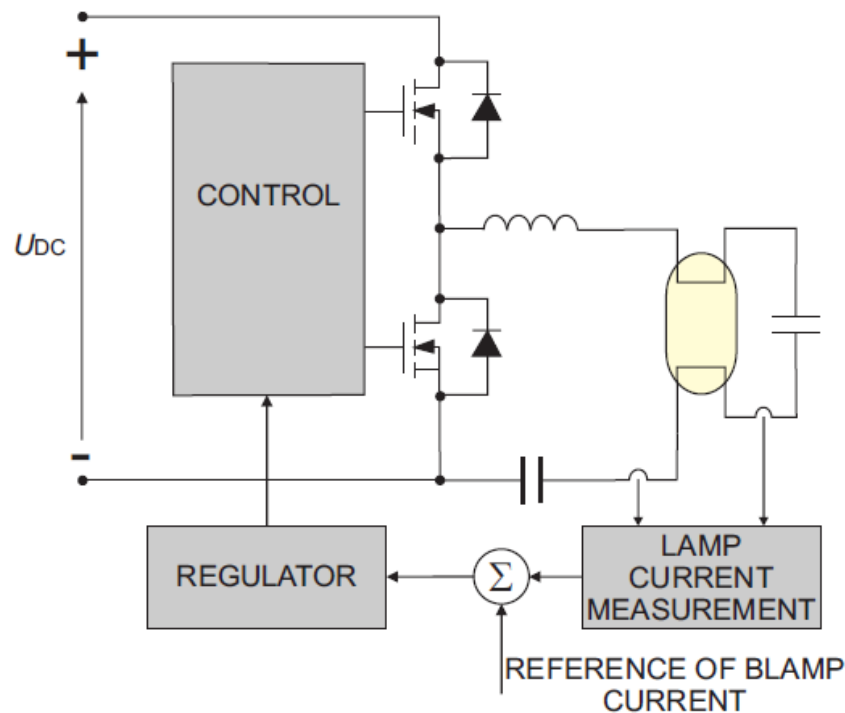


ENERGOELEKTRONICZNE UKŁADY ZASILANIA LAMP FLUORESCENCYJNYCH

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

PODGRZEWANIE ELEKTROD, ZAPŁON I REGULACJA PRĄDU (DIMMING)

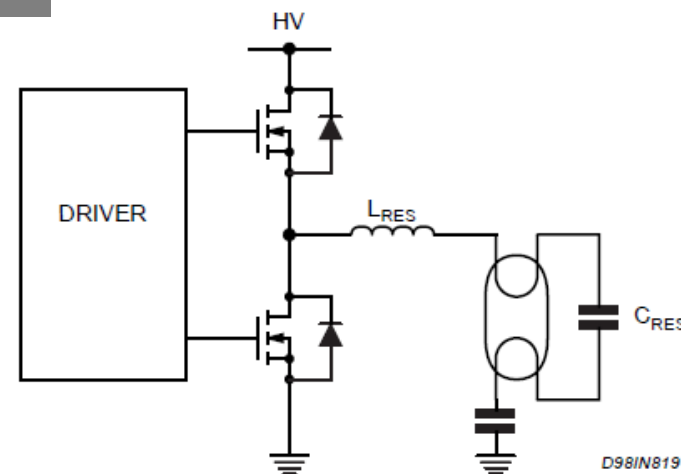
DIMMING – zmiana częstotliwości wpływa na napięcie lampy. Jednocześnie rezystancja lampy wpływa na wartość prądu.



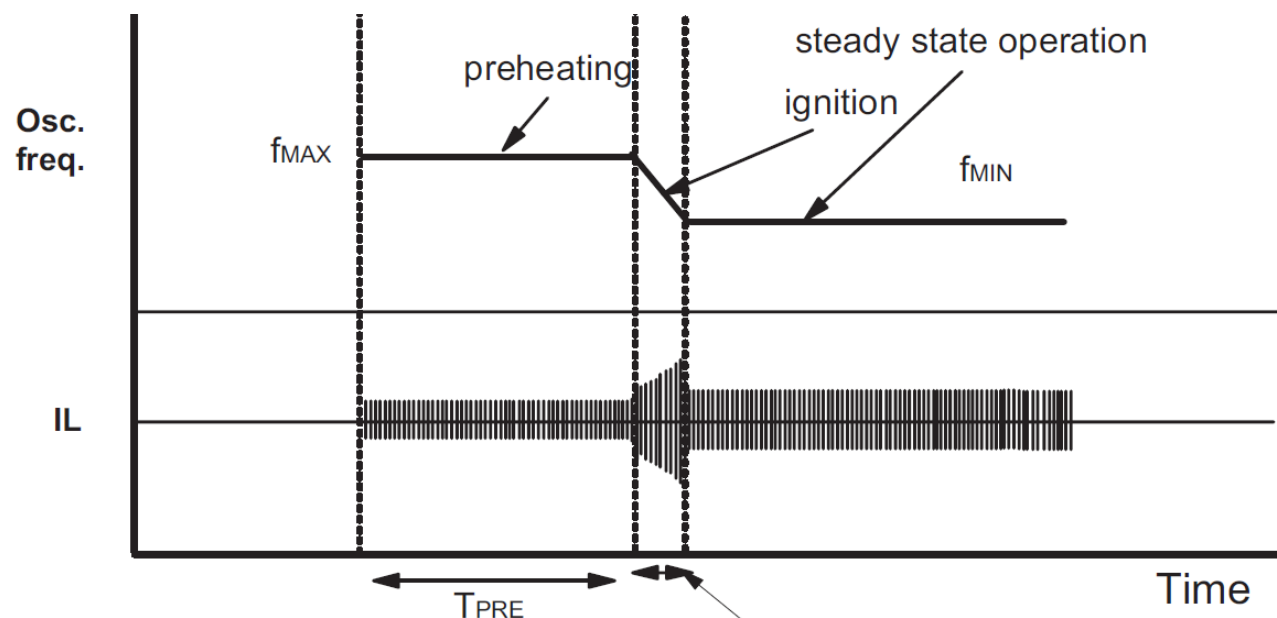
ENERGOELEKTRONICZNE UKŁADY ZASILANIA LAMP FLUORESCENCYJNYCH

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

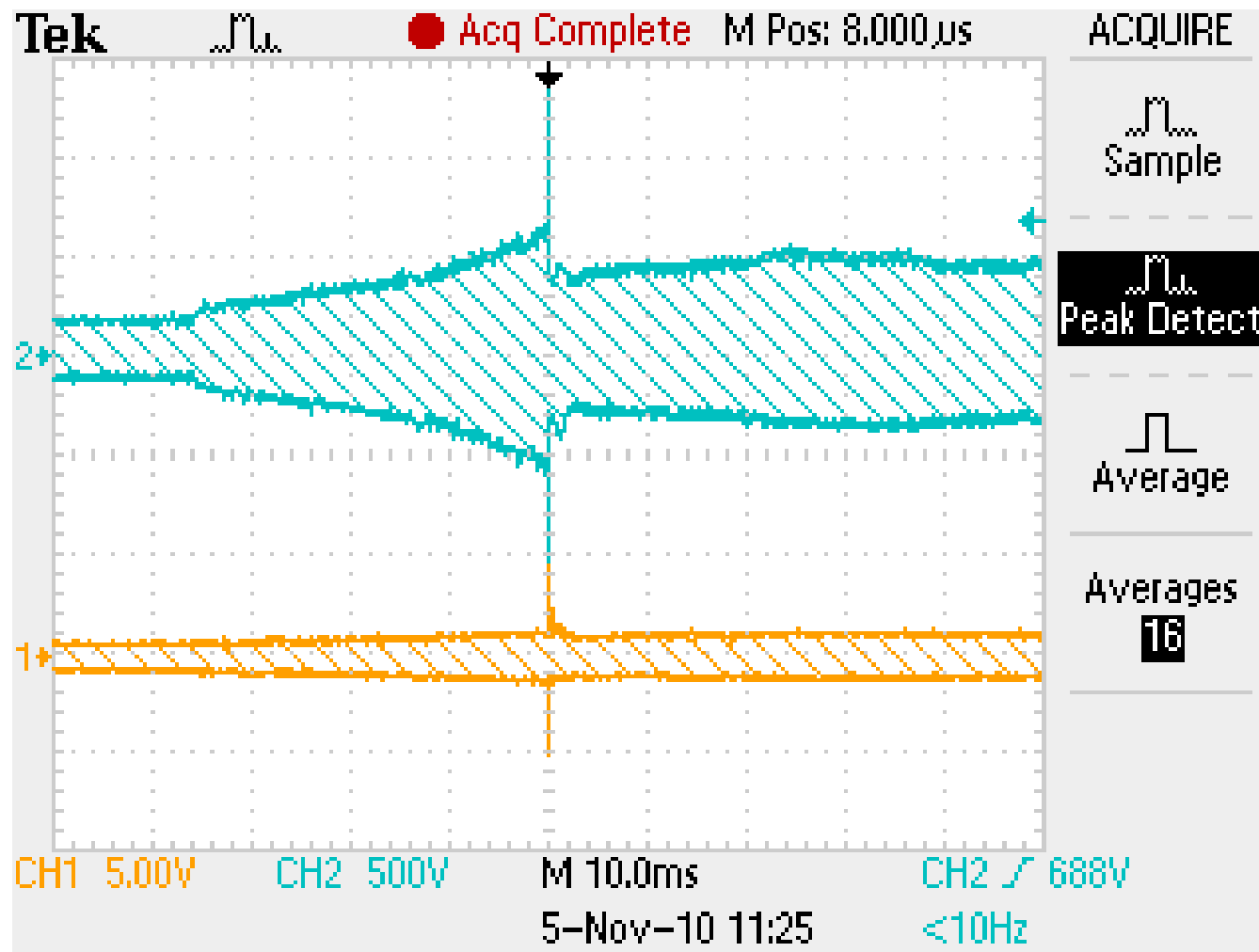
NAGRZEWANIE ELEKTROD, ZAPŁON I REGULACJA PRĄDU (DIMMING) - Przykład



Regulacja prądu lampy
przez zmianę
częstotliwości pracy
falownika



Przykład: pomiar prądu lampy fluorescencyjnej zasilanej z elektronicznego układu

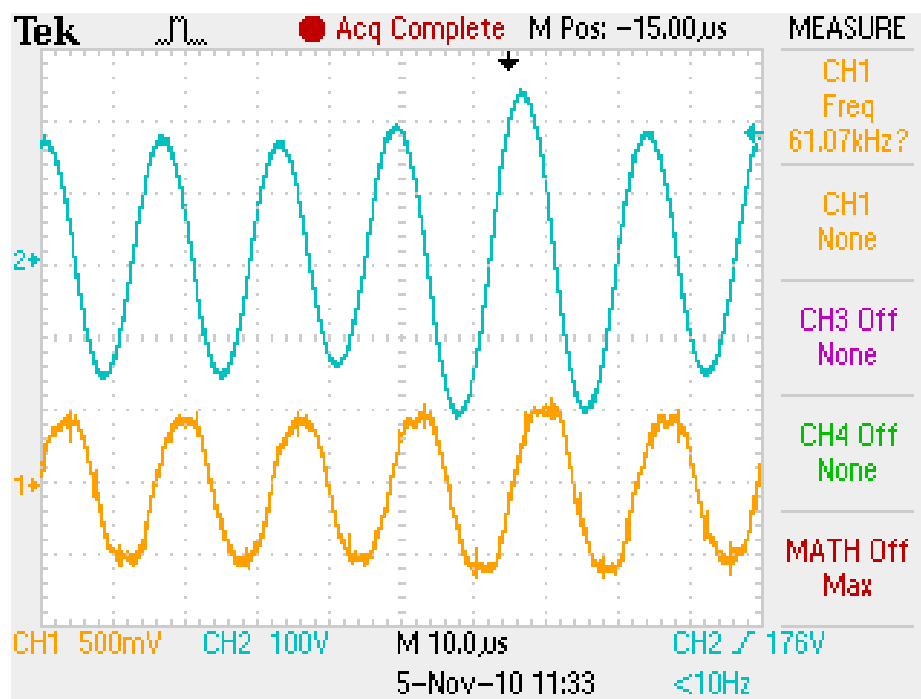


CYKL ZAPŁONU OD
KOŃCOWEJ FAZY
NAGRZEWANIA ELEKTROD

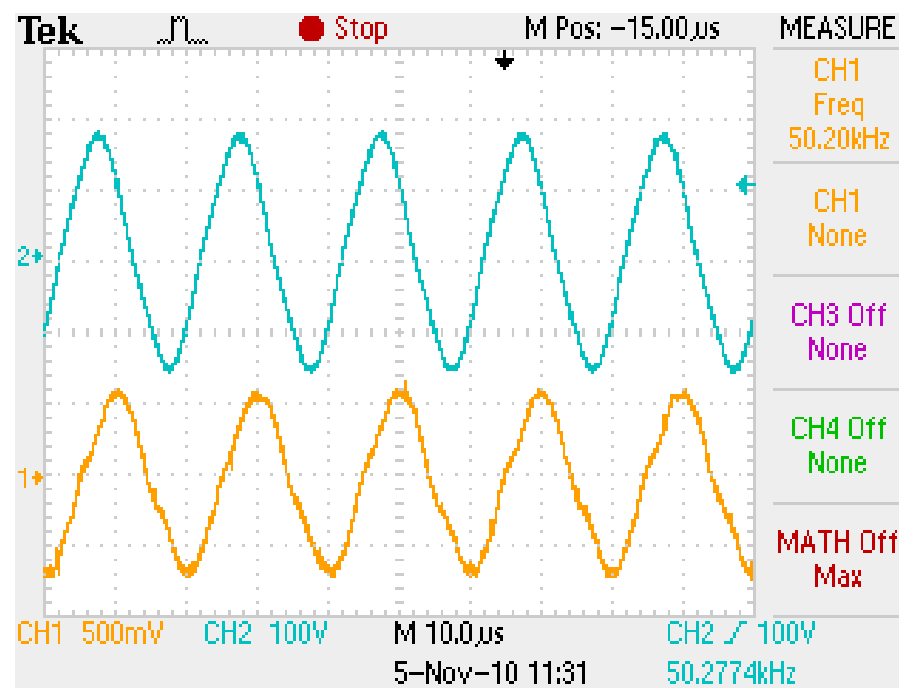
Przykład: pomiar prądu lampy fluorescencyjnej zasilanej z elektronicznego układu

CZĘSTOTLIWOŚĆ PRZED I PO ZAPŁONIE

PRZED ZAPŁONEM



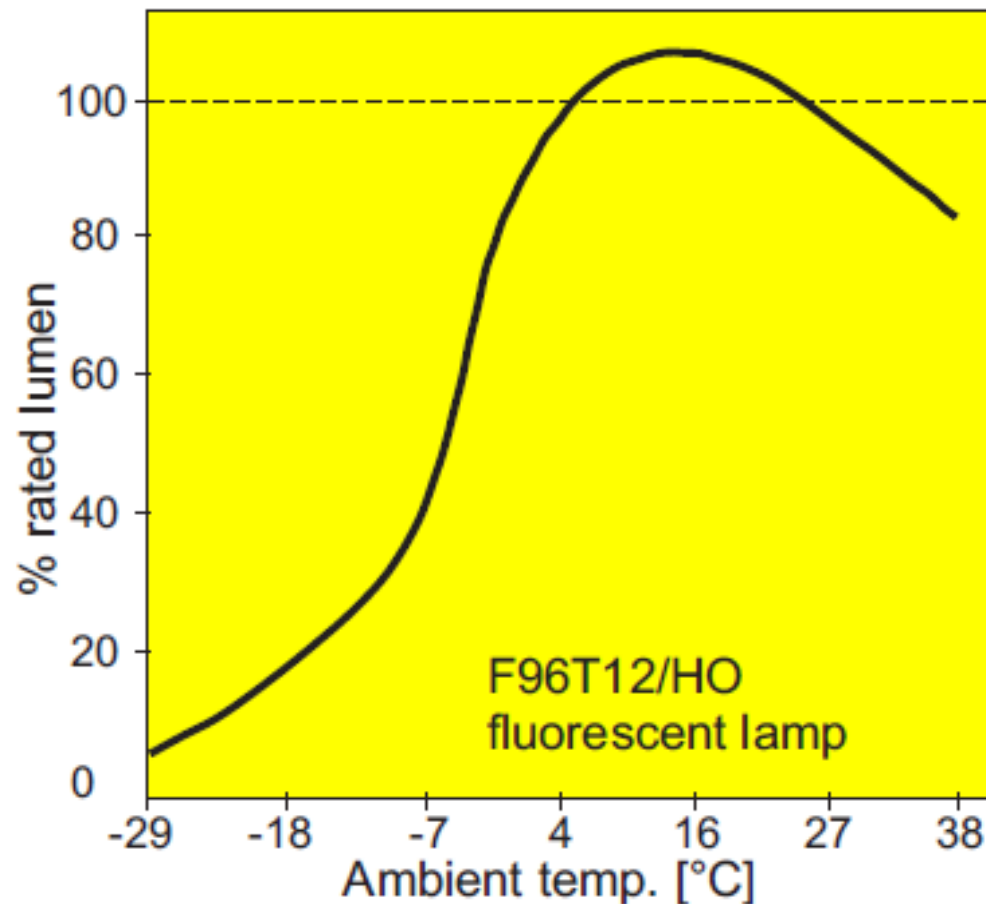
PO ZAPŁONIE



LAMPY FLUORESCENCYJNE

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

WPŁYW TEMPERATURY NA WYDAJNOŚĆ LAMPY



Na charakterystykę strumienia świetlnego w funkcji temperatury ma wpływ:

- Wykonanie lampy (do zastosowań wewnątrz lub na zewnątrz)
- Oprawa
- Wiatr
- Położenie lampy

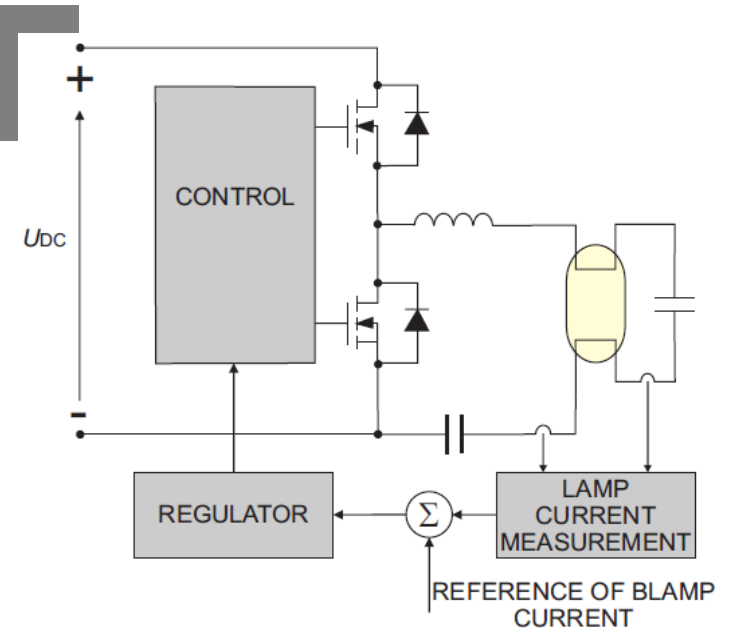
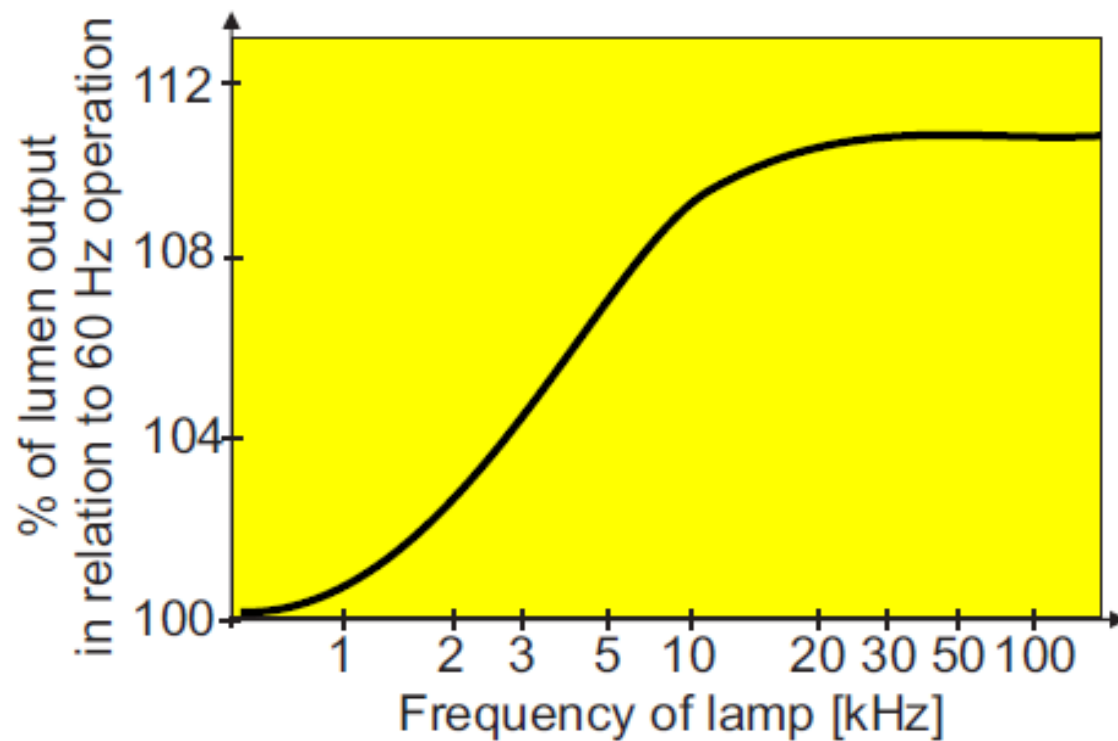
Źródło:

M. S. Rea, „The IESNA Lighting Handbook. Reference & Application” Illuminating Engineering Society of North America IESNA, 2000,

LAMPY FLUORESCENCYJNE

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

WPŁYW CZĘSTOTLIWOŚCI PRĄDU LAMPY NA STRUMIEŃ WYJŚCIOWY



-Do 20 kHz następuje duży wzrost skuteczności lumen/Watt z częstotliwością pracy
- powyżej 20 kHz skuteczność świetlna pozostaje stała
- > 20kHz – częstotliwości niesłyszalne

[1]

Źródło:

M. S. Rea, „The IESNA Lighting Handbook. Reference & Application” Illuminating Engineering Society of North America IESNA, 2000,

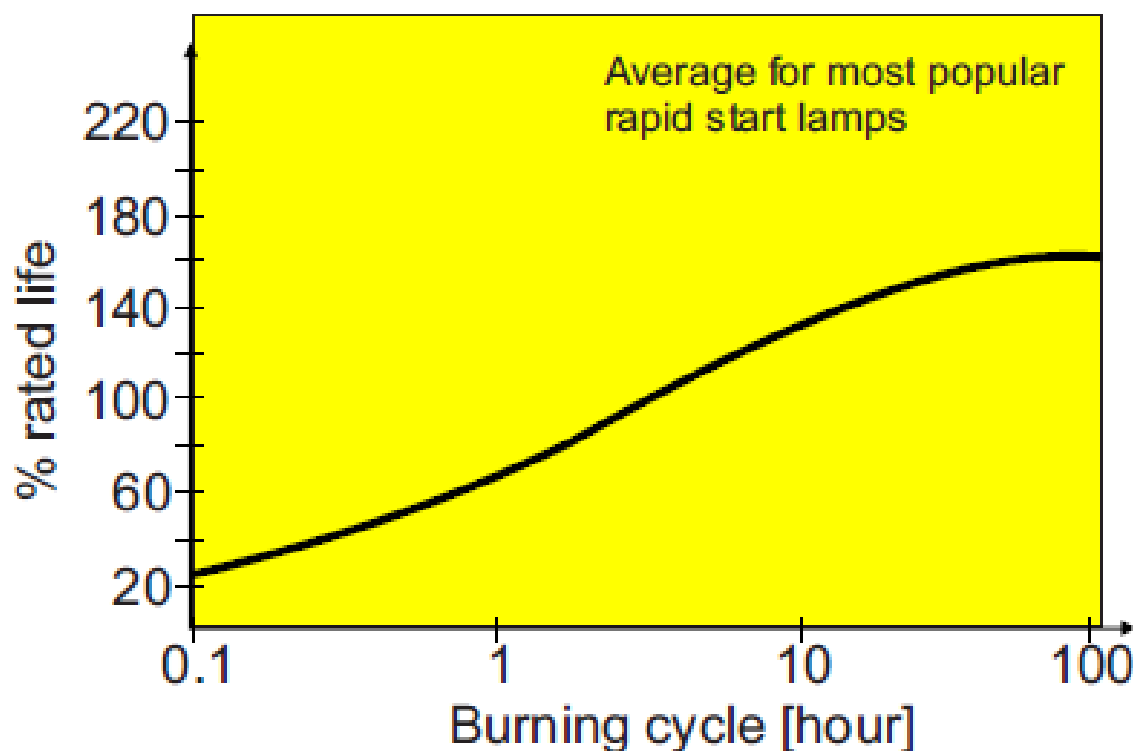
LAMPY FLUORESCENCYJNE

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

TRWAŁOŚĆ – czas życia lampy

TRWAŁOŚĆ LAMPY ZALEŻY OD SZYBKOŚCI PAROWANIA LUB KOROZJI materiału EMISYJNEGO NA ELEKTRODACH.

Na trwałość lampy ma wpływ częstość zapłonów. Trwałość lampy podaje się dla przypadku 3 - godzinnej pracy na jeden start (3h/start). Przy częstszych zapłonach trwałość lampy spada (nie dotyczy to CCFL).



Źródło:

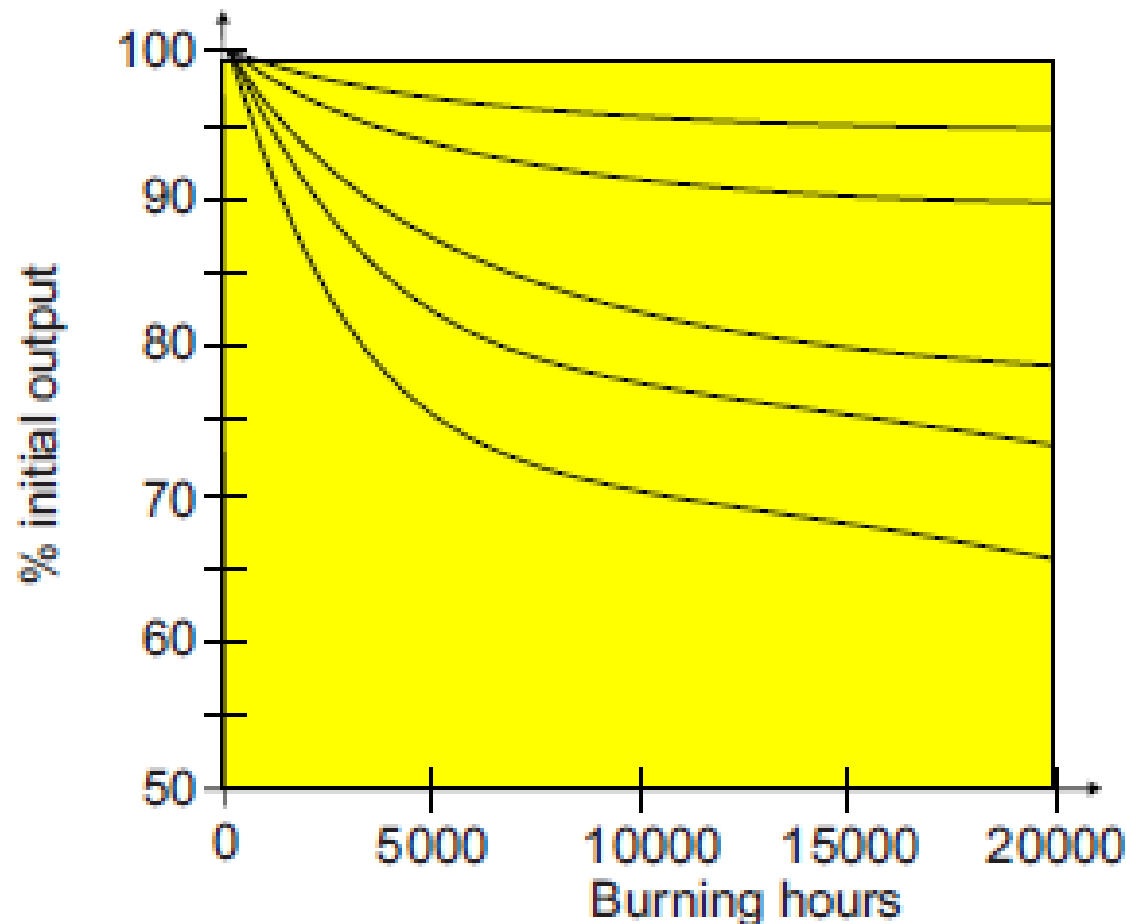
M. S. Rea, "The IESNA Lighting Handbook. Reference & Application" Illuminating Engineering Society of North America IESNA, 2000,

LAMPY FLUORESCENCYJNE

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

TRWAŁOŚĆ – utrata strumienia

Spowodowana głównie utratą luminoforu.
Krzywe LLD (Lamp Lumen Depreciation) dla poszczególnych lamp:



Źródło:

M. S. Rea, "The IESNA Lighting Handbook. Reference & Application" Illuminating Engineering Society of North America IESNA, 2000,

Problem - recykling

- Świetlówka F8T5 zawiera 3.75 miligramy rtęci,
- Mniej niż 25% lamp z rtęcią jest utylizowane (Association of Lighting and Mercury Recyclers 2008),
- jest bardzo niewiele miejsc recyklingu CFL

DYNAMICAL LIGHTING – regulacja temperatury barwowej (i natężenia oświetlenia) lampy w zależności od preferencji użytkownika, dyspozycji czy pory dnia.



PODSUMOWANIE

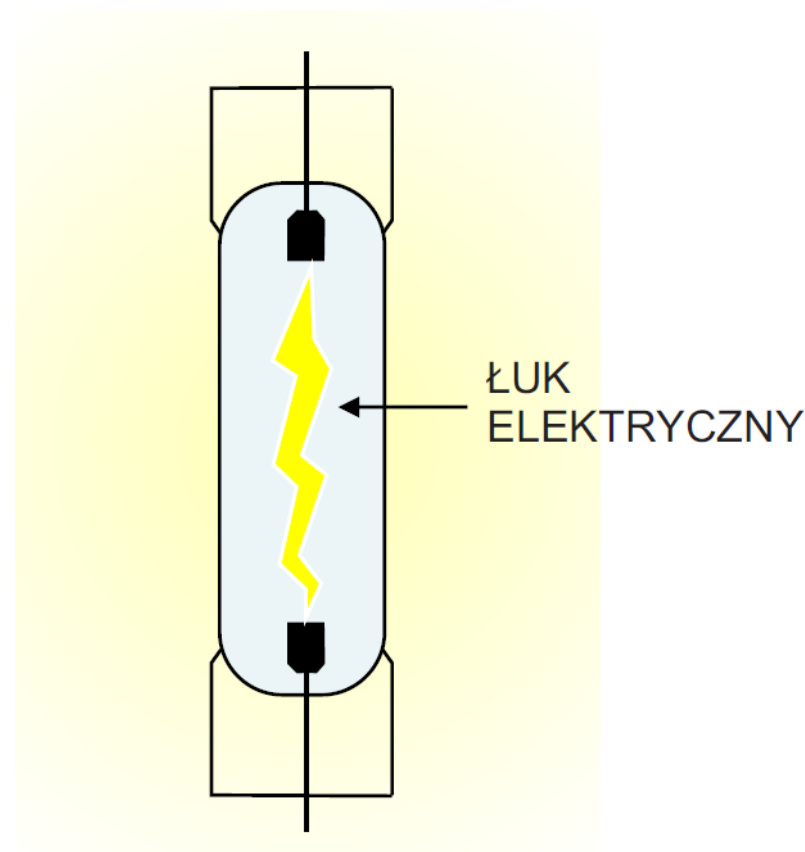
- Wysoka skuteczność świetlna,
 - Duża trwałość,
 - Niski koszt,
 - Możliwość regulacji strumienia (w niektórych układach zasilania),
 - Użycie elektronicznego układu zasilania umożliwia zasilanie lampy z wysoką częstotliwością, co jest bardziej ekonomiczne (mniejszy układ), zwiększa możliwy strumień i wydłuża czas użytkowania lampy (lampa pracuje często przy mniejszej mocy).
-
- Wymagany układ stabilizująco-zapłonowy,
 - Efekt migotania światła (nie występuje w układzie z elektronicznym układzie zasilania),
 - Efekt stroboskopowy (nie występuje w układzie z elektronicznym układzie zasilania),
 - Praca przy różnych poziomach napięcia zasilającego wymaga dodatkowych komponentów w układzie zasilającym lampy,
 - Możliwe zakłócenia akustyczne 100Hz przez dławik,
 - Wymiary lamp są duże w stosunku do emitowanego strumienia- (lampy HID, żarowe i LED są znacznie mniejsze),
 - Zakłócenia w paśmie wysokich częstotliwości,
 - Problem recyklingu i uszkodzeń.

LAMPY HID

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

HID - HIGH INTENSITY DISCHARGE LAMPS

- Światło pochodzi z wyładowania elektrycznego w cząsteczkach gazu, które występuje pomiędzy elektrodami (łuk).
- Po zapłonie cząsteczki gazu są częściowo zjonizowane tworząc możliwość przewodzenia prądu elektrycznego,
- HID są mniejsze od świetlówek
- W lampach wysokoprężnych w wewnętrznej tubie, w której następuje wyładowanie występuje **WYSOKA TEMPERATURA I DUŻE CIŚNIENIE**,
- Lampy wymagają długiego czasu dojścia do znamionowych parametrów barwy światła po zapłonie (np. kilkanaście minut) – problem ze ściemnianiem (efekt nie jest widoczny natychmiast),
- Po wyłączeniu zasilania ponowny zapłon jest możliwy po ostygnięciu lampy (z wyjątkiem szczególnych wykonania) – lampy HID nie nadają się do oświetlenia ostrzegawczego, lub do współpracy z czujnikami obecności,
- Kolor żółty i niski CRI lamp sodowych jest nieodpowiedni do wielu zastosowań.
- Możliwość wystąpienia rezonansu akustycznego

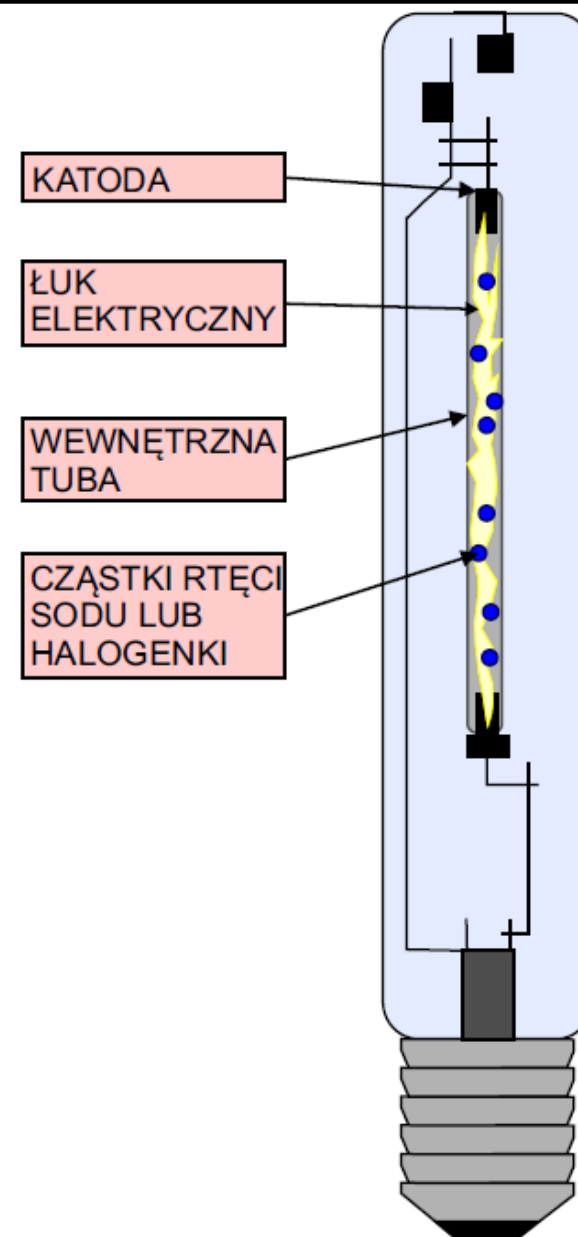


LAMPY HID – WYSOKOPRĘŻNE LAMPY WYŁADOWCZE

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

BUDOWA LAMPY

- Światło pochodzi z wyładowania elektrycznego w cząsteczkach gazu, które występuje pomiędzy elektrodami (łuk).
- Po zapłonie cząsteczki gazu są częściowo zjonizowane tworząc możliwość przewodzenia prądu elektrycznego,
- W lampach wysokoprężnych w wewnętrznej tubie, w której następuje wyładowanie występuje WYSOKA TEMPERATURA I DUŻE CIŚNIENIE
- Lampa przeważnie zbudowana jest z tuby wewnętrznej i zewnętrznej, która stanowi ochronę przed wysoką temperaturą,
- Tuba zewnętrzna filtruje promieniowanie UV
- Tuba wewnętrzna wykonana jest z wysokiej jakości szkła kwarcowego lub materiałów ceramicznych i charakteryzuje się dużą wytrzymałością na zmiany temperatury i dużą przejrzystością,
- W tubie zewnętrznej znajdują się przewodniki (pracujące w wysokiej temperaturze). Mogą znajdować się elementy umożliwiające zapłon (dioda, rezystor, kondensator).
- Zewnętrzna tuba może być wypełniona gazem i pokryta luminoforem wzbudzany przez UV.

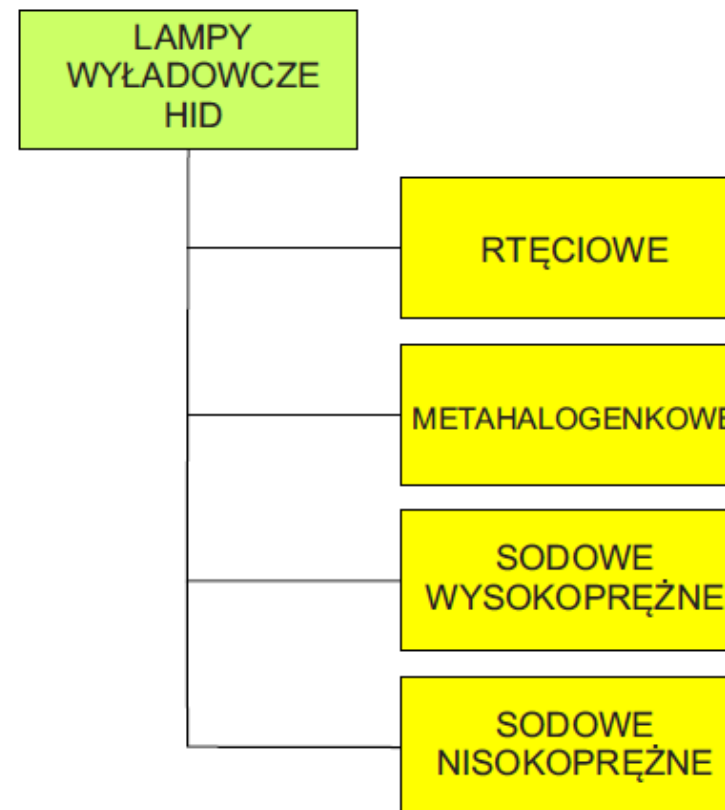
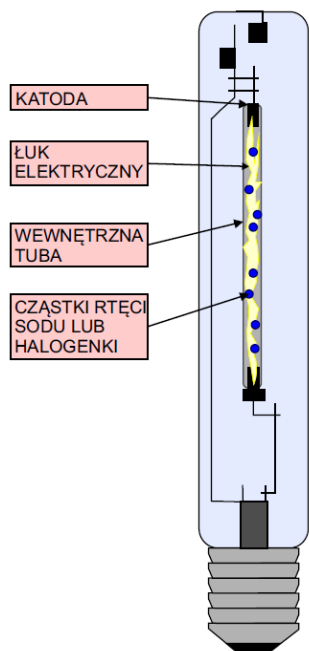


LAMPY HID – WYSOKOPRĘŻNE LAMPY WYŁADOWCZE

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

PODSTAWOWE PARAMETRY

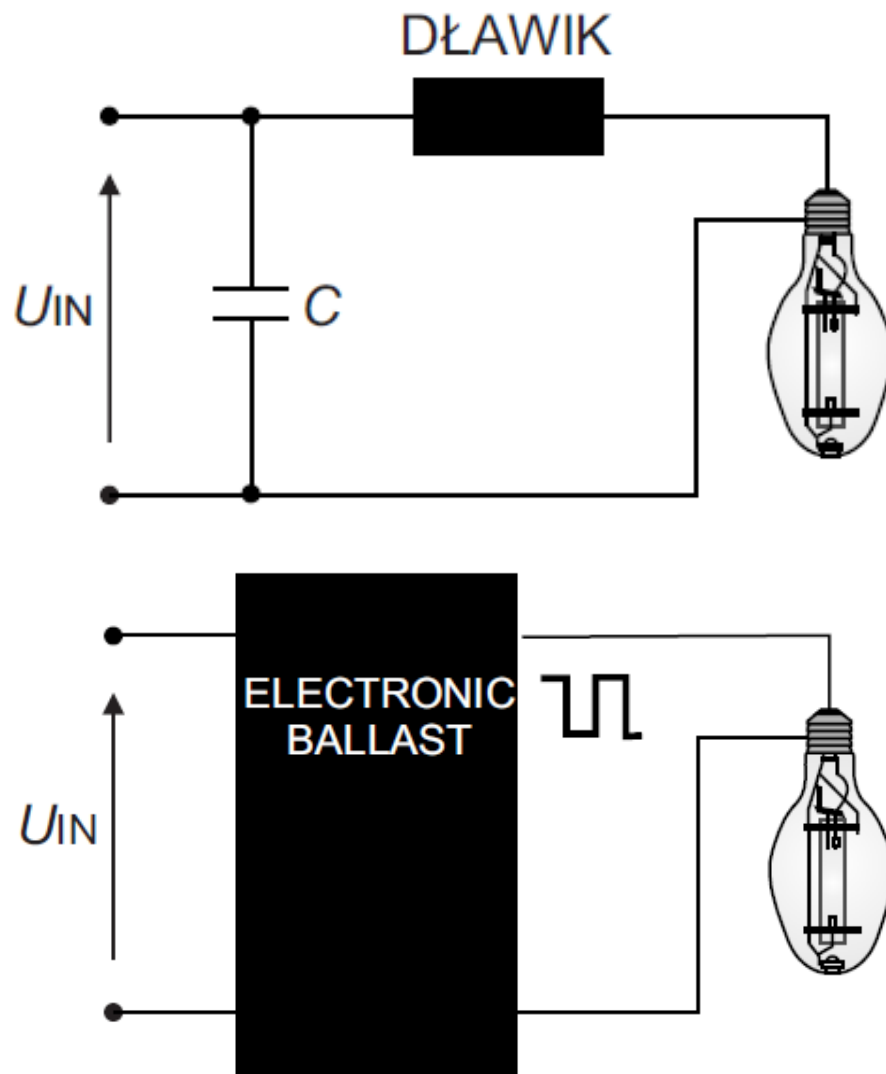
Wysoka skuteczność świetlna – do 150 lm/W
Duża trwałość – do 55000 godzin
Duża wartość strumienia świetlnego – 5000 – 200000 lm



PODSTAWOWE PARAMETRY

Typ lampy	Moc [W]	Skuteczność świetlna [lm/W]	Trwałość[h]	CCT [K]	CRI
Fluorescencyjna	4-100	62	20000	4200	62
Sodowa niskoprężna	50-150	110-180	15000	1800	<0
Rtęciowa	50-1000	40-70	24000	4000-6000	15-50
Metahalogenkowa	40-15000	80-125	10000	4000	22
Sodowa wysokoprężna	35-1000	65-140	24000	2000	65

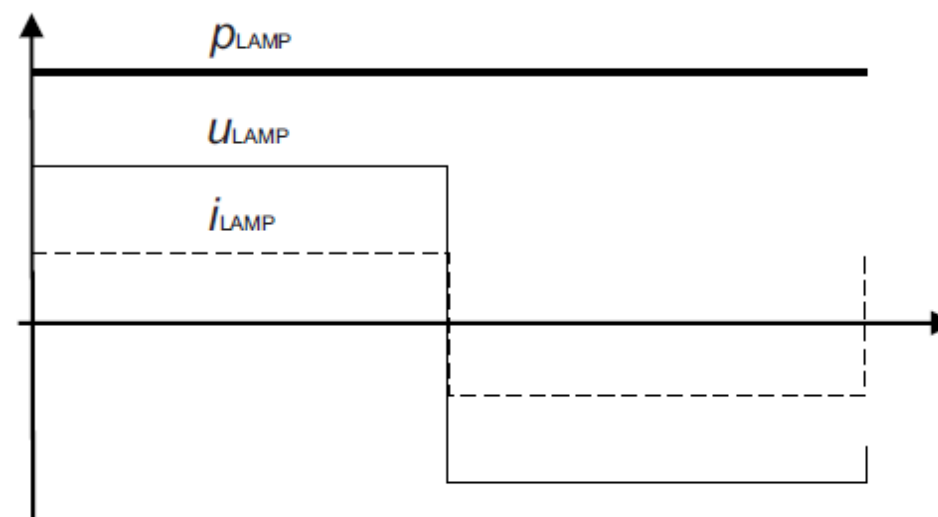
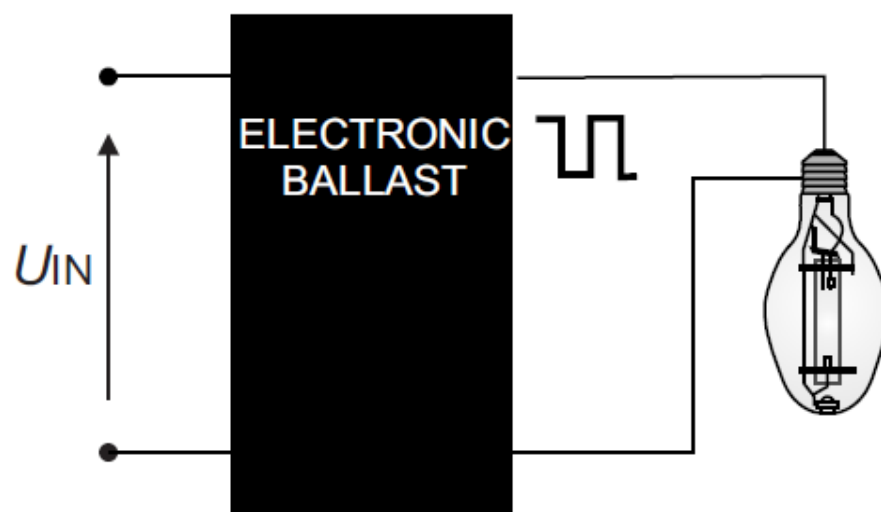
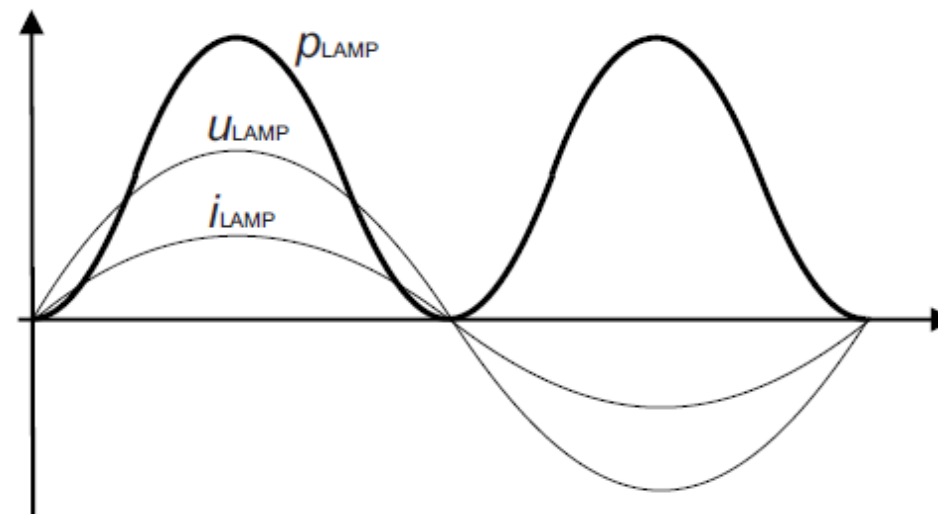
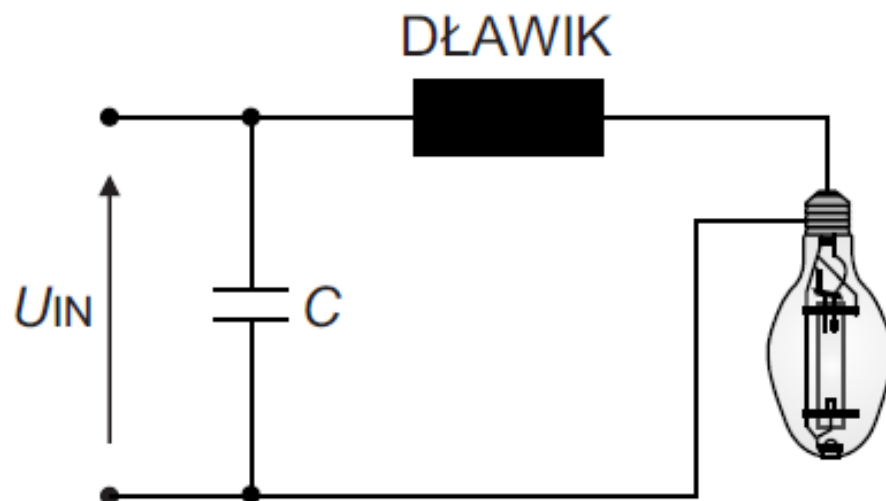
LAMPY HID - ZASILANIE I STEROWANIE



WYMAGANIA DLA UKŁADU ZASILANIA LAMP HID:

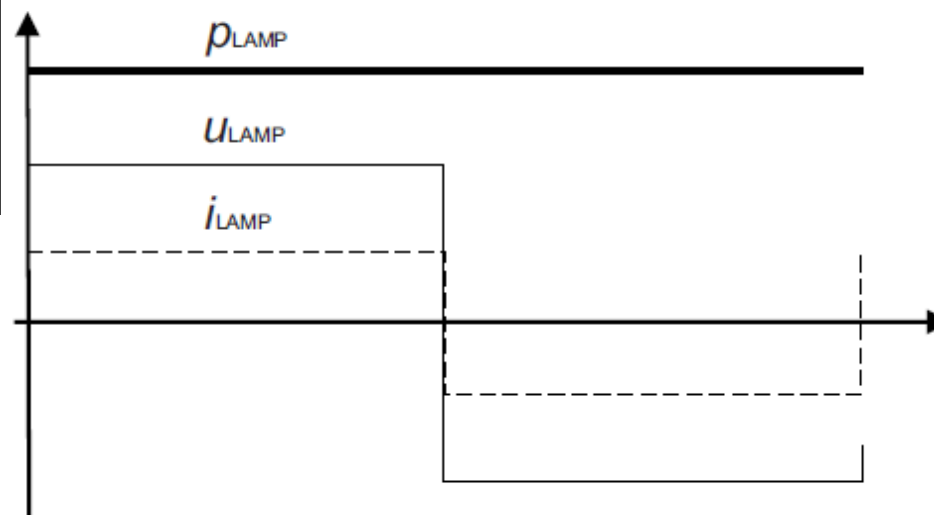
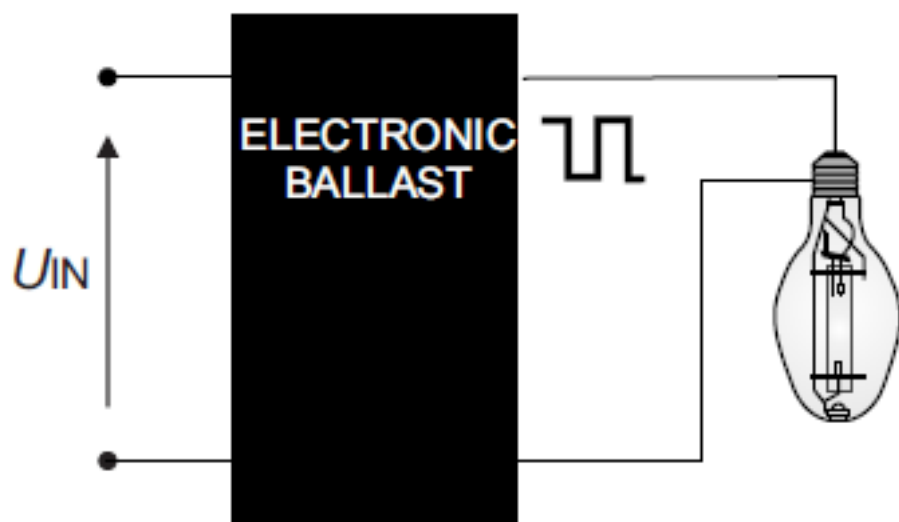
- Przemienne napięcie lampy ze względu na migrację rtęci.
- Niska częstotliwość (zwykle poniżej 200Hz) dla uniknięcia rezonansu akustycznego, który charakteryzuje się okresowymi zmianami ciśnienia par w bańce w wyniku przepływu prądu, co może spowodować eksplozję lampy.
- Wysokie napięcie zapłonu: 3-4kV, a przy zapłonie gorącej lampy 20kV.
- Ograniczenie prądu w fazie nagrzewania.
- Regulacja napięcia lampy dla utrzymania znamionowych parametrów światła.

LAMPY HID - ZASILANIE I STEROWANIE

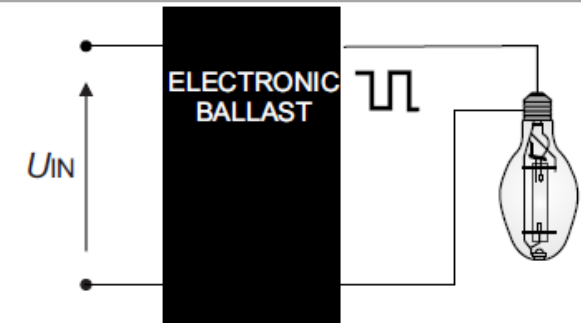


ELEKTRONICZNY OBWÓD ZASILANIA

- LAMPA PRACUJE ZE **STAŁĄ MOCĄ CHWILOWĄ** (REDUKCJA MIGOTANIA)
- UKŁAD JEST LŹEJSZY I ZAPEWNIĄ WIĘKSZE MOŻLIWOŚCI REGULACJI
- LAMP DLA WYSOKICH CZĘSTOTLIWOŚCI MA CHARAKTER REZYSTANCYJNY

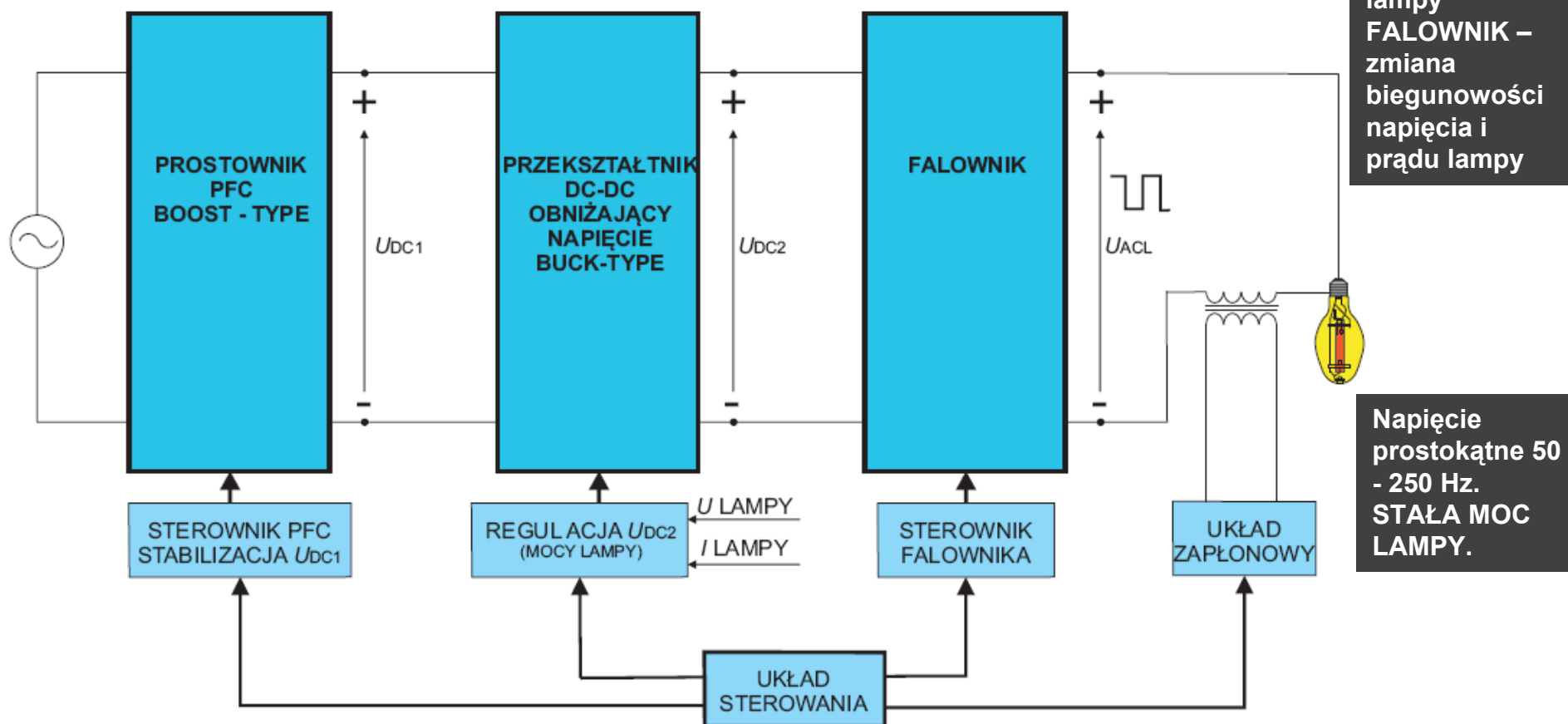


CZĘSTOTLIWOŚĆ ZASILANIA LAMPY – rezonans akustyczny

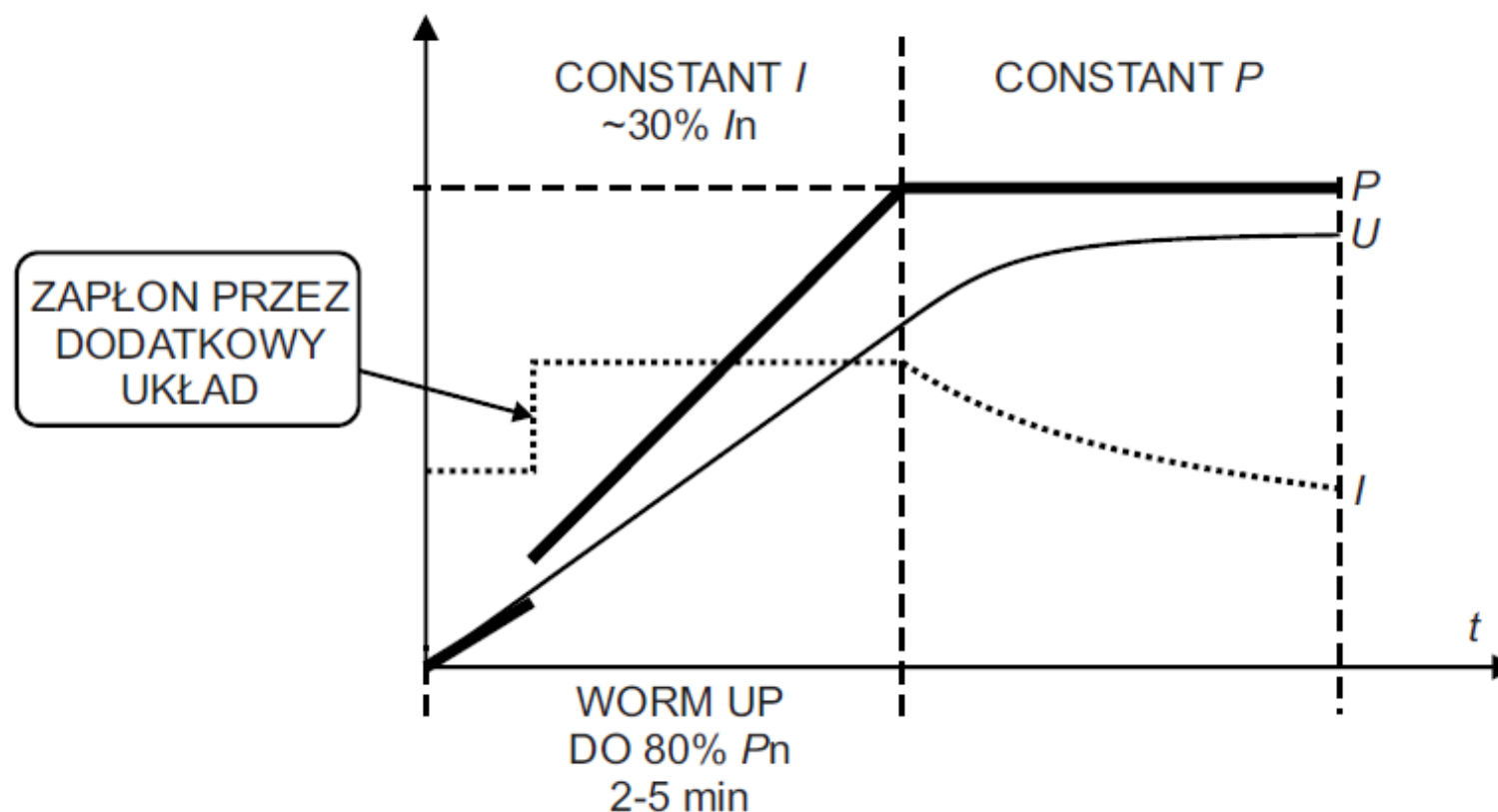


- Rezonans akustyczny występuje w lampach HID dla częstotliwości powyżej 1 kHz i pojawia się w wyniku znacznych fluktuacji mocy lampy. Innym negatywnym parametrem jest migotanie.
- Częstotliwość zasilania lamp HID zawiera się w przedziale 100Hz – 1kHz.
- Częstotliwość zasilania lamp HID i przebiegi zależą od typu lampy warunków pracy i temperatury. Nieprawidłowy dobór negatywnie wpływa na osiągi i trwałość lampy, może również doprowadzić do mechanicznego uszkodzenia tuby.
- Moc lampy jest stała przy zasilaniu napięciem prostokątnym – i jest to najkorzystniejsza metoda zasilania lamp HID.

TYPOWY ELEKTRONICZNY OBWÓD ZASILANIA LAMP WYŁADOWCZYCH HID



KONCEPCJA SYSTEMU PRZEKSZTAŁTNIKÓW: BOOST PFC, I FALOWNIK



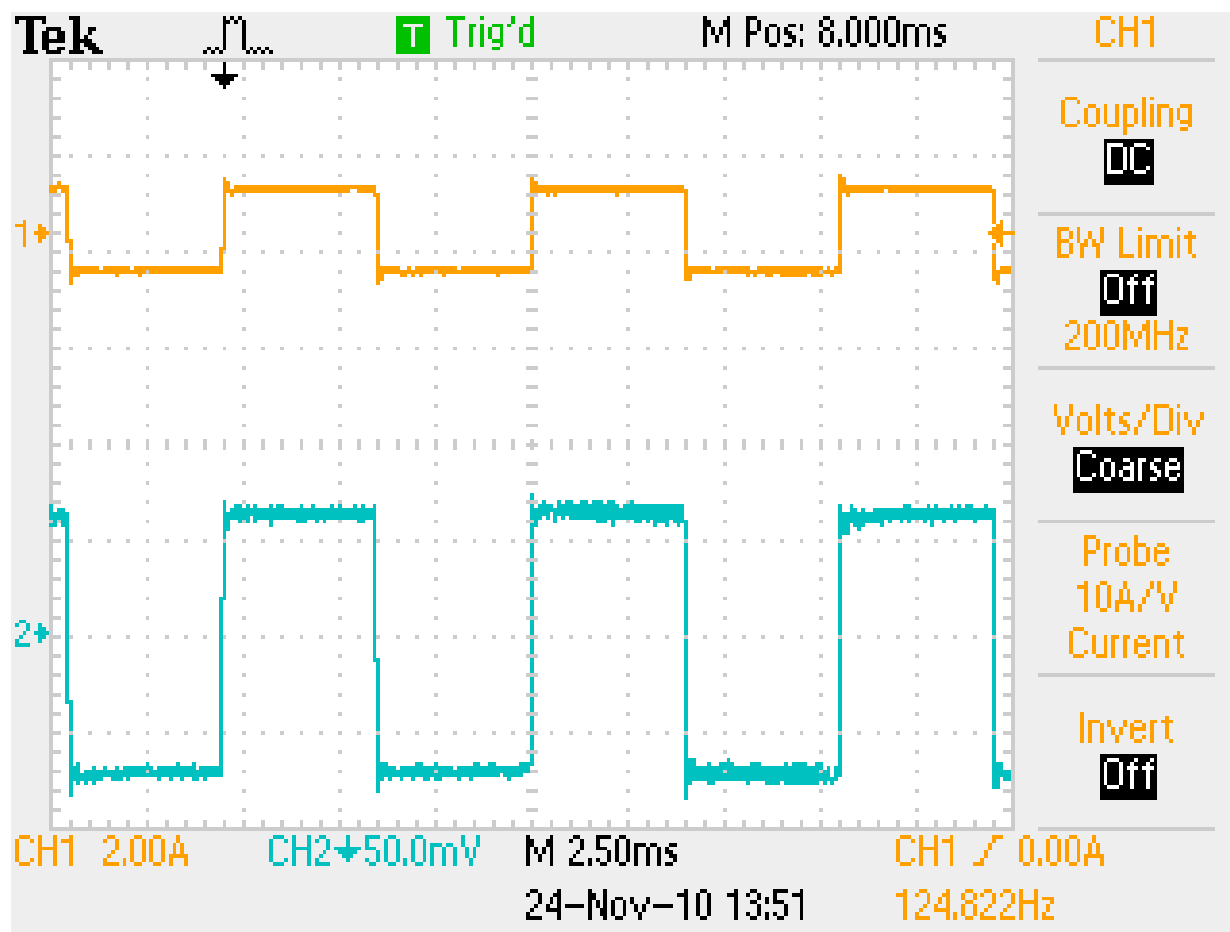
ENERGOELEKTRONICZNE UKŁADY ZASILANIA LAMP HID

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

LAMPY SODOWE – HPS (HIGH PRESSURE SODIUM) – WYSOKOPRĘŻNA LAMPA SODOWA

Przykład: LAMPA SON-T 70W/220 E27 1SL ZASILANA PRZEZ UKŁAD ELEKTRONICZNY

STAN USTALONY – 125Hz:



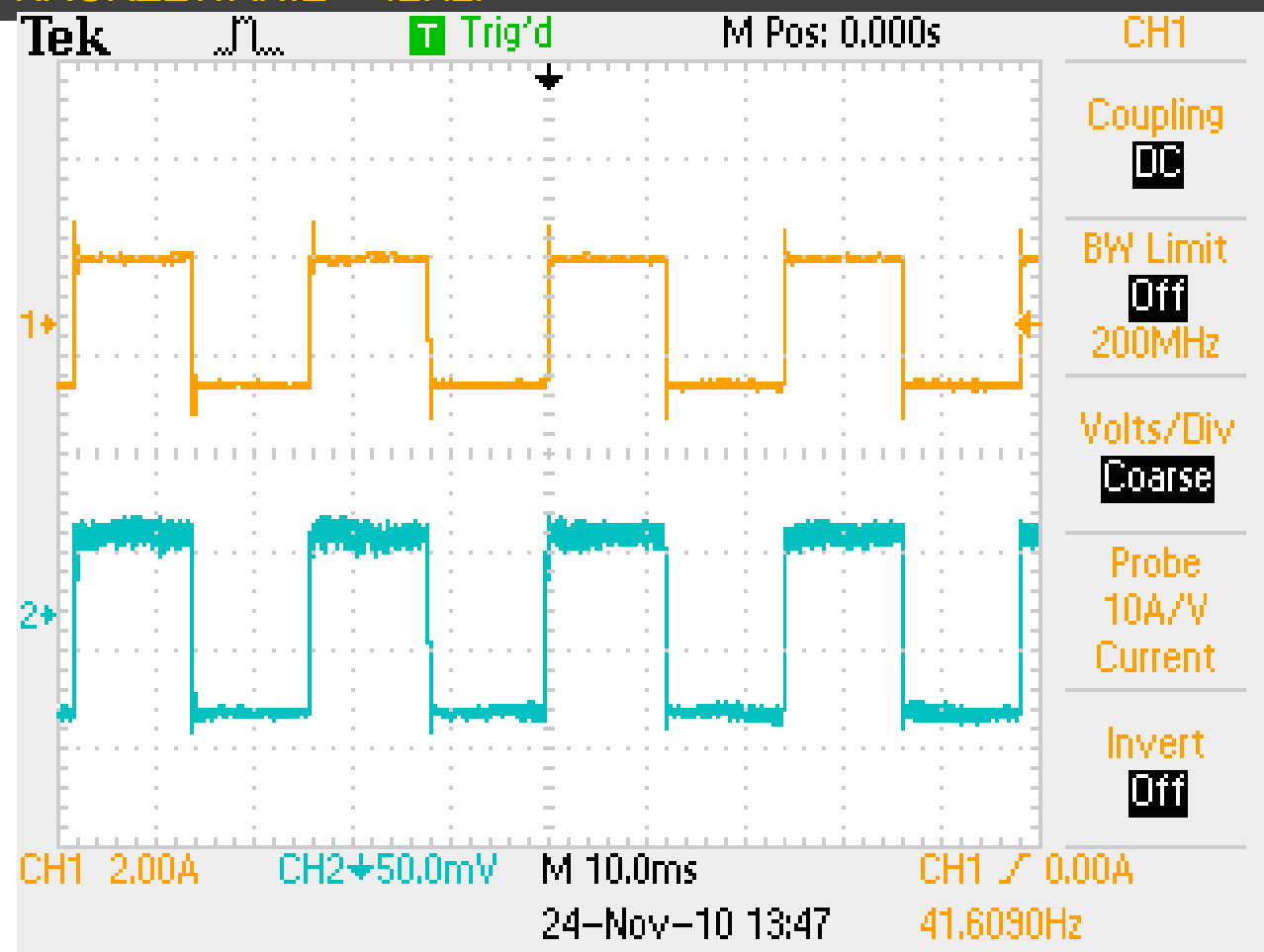
POMIAR PRĄDU I
NAPIĘCIA LAMPY

Napięcie lampy
przeskalowane przy pomiarze

LAMPY SODOWE – HPS (HIGH PRESSURE SODIUM) – WYSOKOPRĘŻNA LAMPA SODOWA

Przykład: LAMPA SON-T 70W/220 E27 1SL ZASILANA PRZEZ
UKŁAD ELEKTRONICZNY

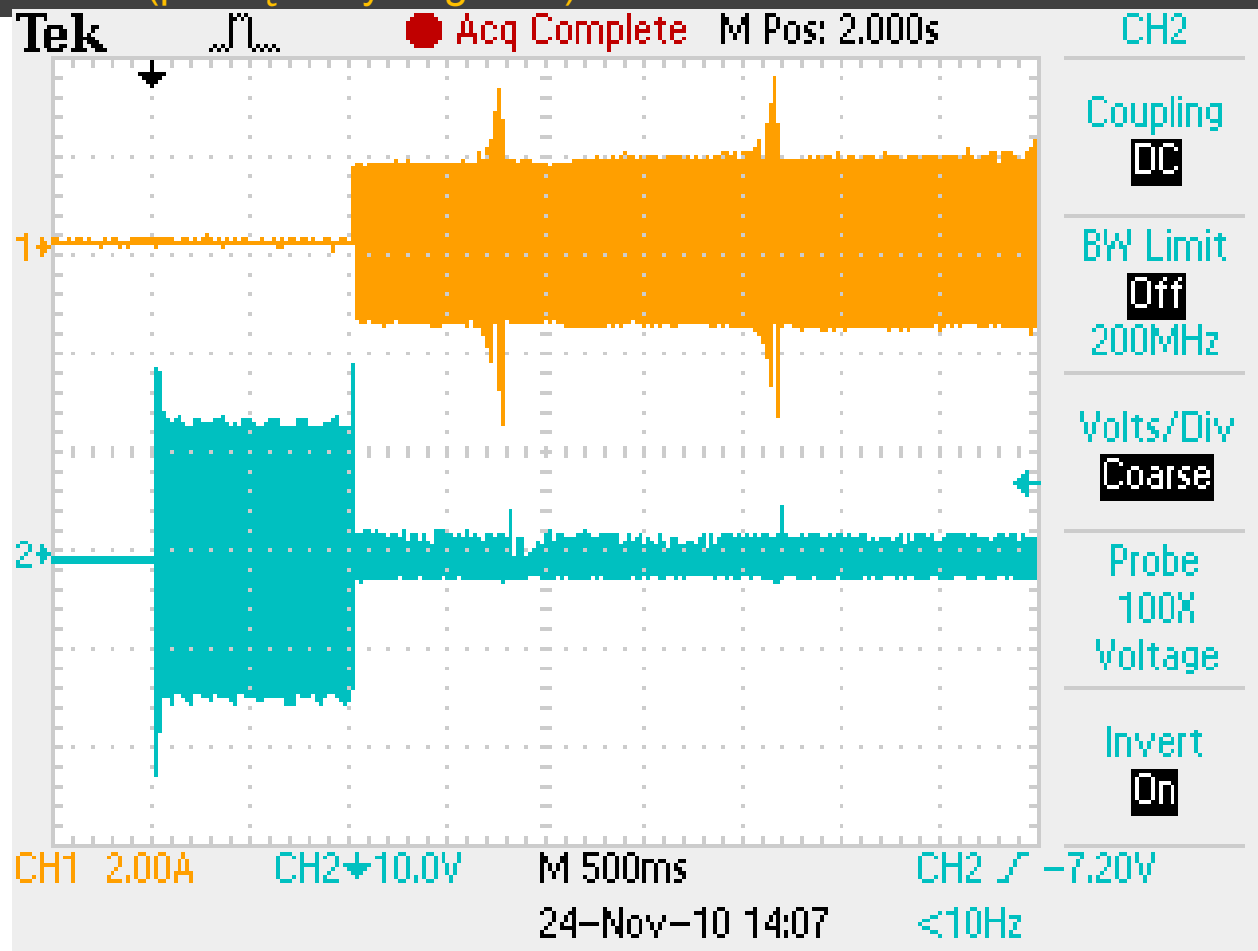
NAGRZEWANIE – 42Hz:



LAMPY SODOWE – HPS (HIGH PRESSURE SODIUM) – WYSOKOPRĘŻNA LAMPA SODOWA

Przykład: LAMPA SON-T 70W/220 E27 1SL ZASILANA PRZEZ
UKŁAD ELEKTRONICZNY

START (początkowy fragment):



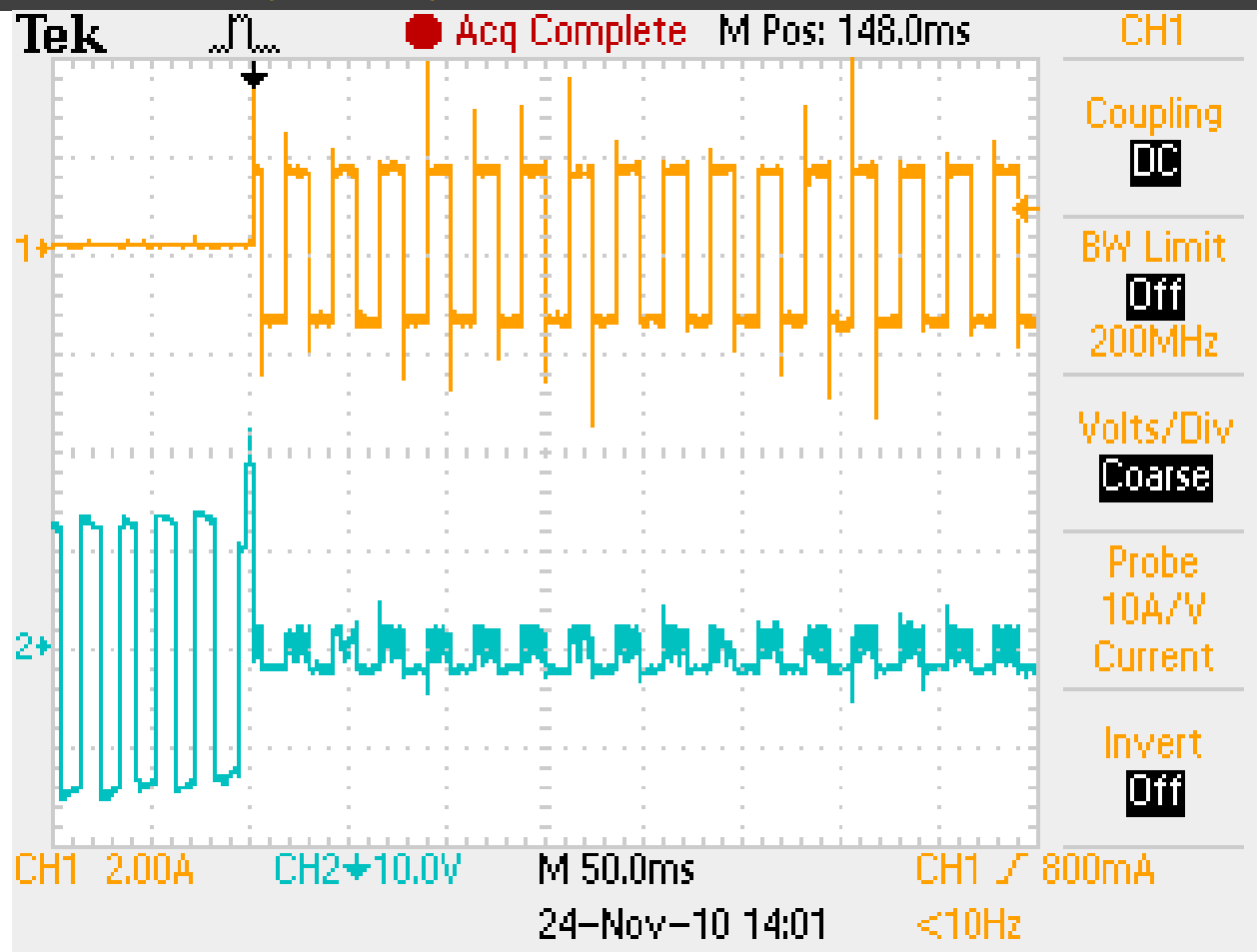
ENERGOELEKTRONICZNE UKŁADY ZASILANIA LAMP HID

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

LAMPY SODOWE – HPS (HIGH PRESSURE SODIUM) – WYSOKOPRĘŻNA LAMPA SODOWA

Przykład: LAMPA SON-T 70W/220 E27 1SL ZASILANA PRZEZ
UKŁAD ELEKTRONICZNY

START (początkowe wyładowanie):



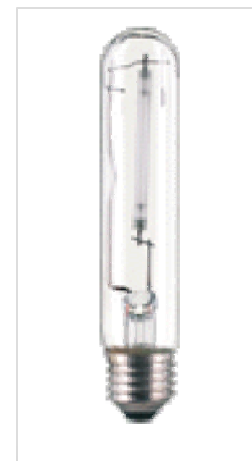
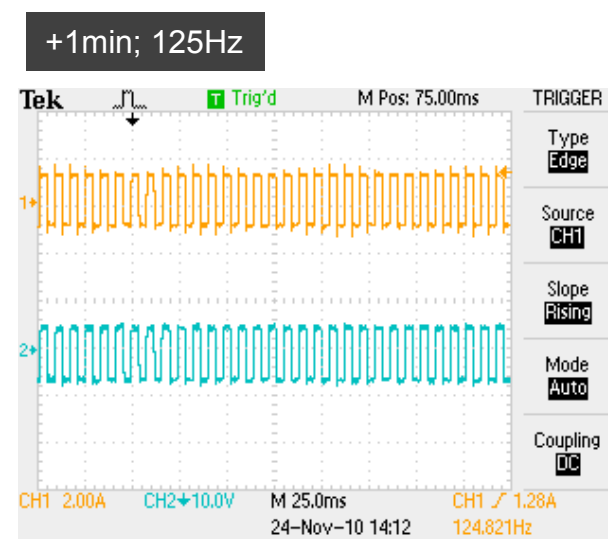
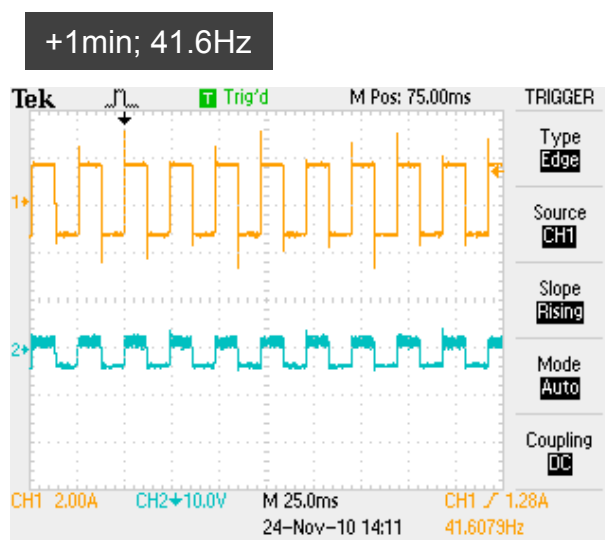
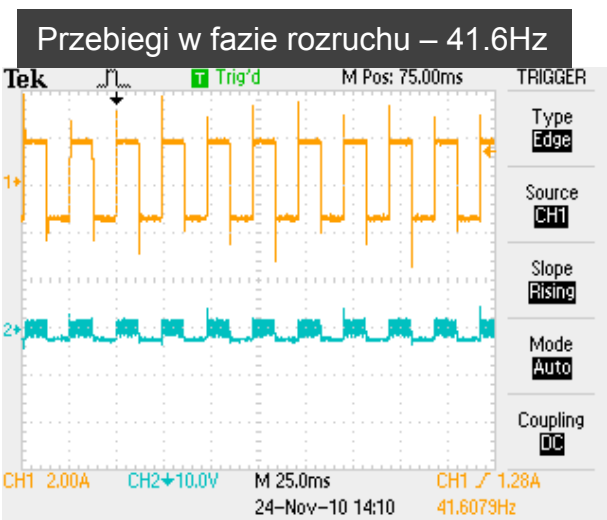
ENERGOELEKTRONICZNE UKŁADY ZASILANIA LAMP HID

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

LAMPY SODOWE – HPS (HIGH PRESSURE SODIUM) – WYSOKOPRĘŻNA LAMPA SODOWA

Przykład: LAMPA SON-T 70W/220 E27 1SL ZASILANA PRZEZ
UKŁAD ELEKTRONICZNY

START:



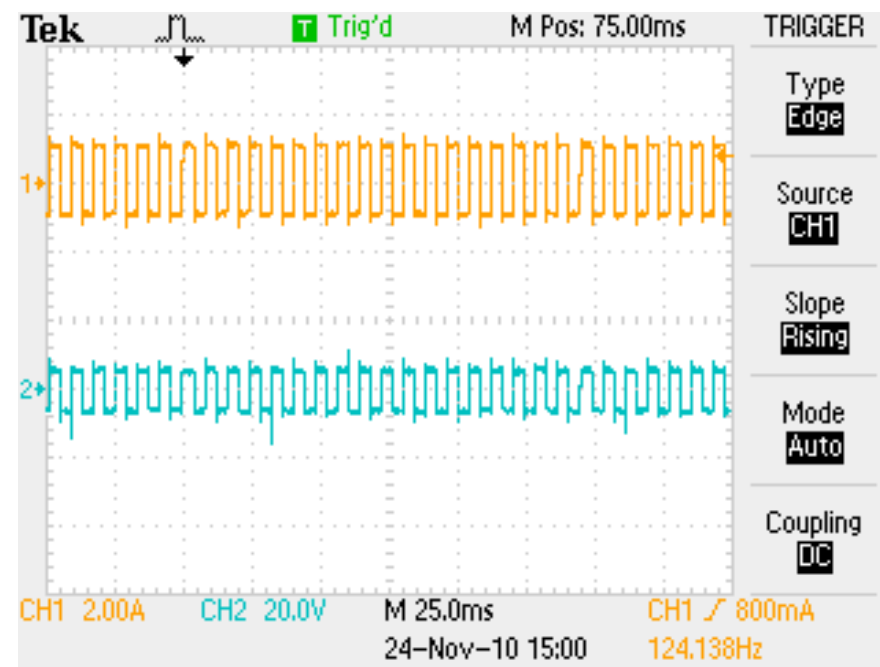
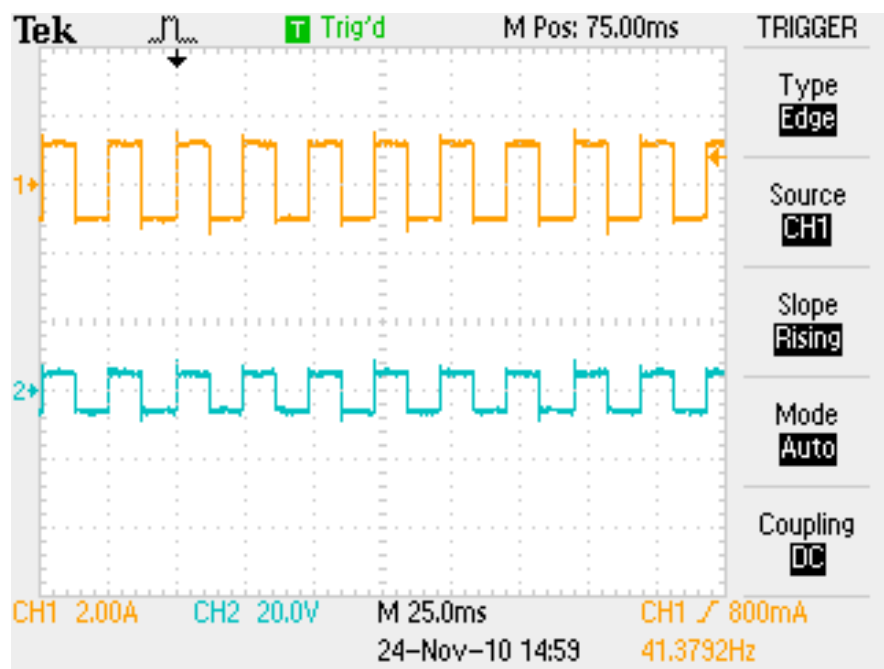
ENERGOELEKTRONICZNE UKŁADY ZASILANIA LAMP HID

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

LAMPY METAHALOGENKOWE

Przykład: MASTERColour CDMTT 70W/942 E27 1SL ZASILANA PRZEZ UKŁAD ELEKTRONICZNY

NAGRZEWANIE I STAN USTALONY:



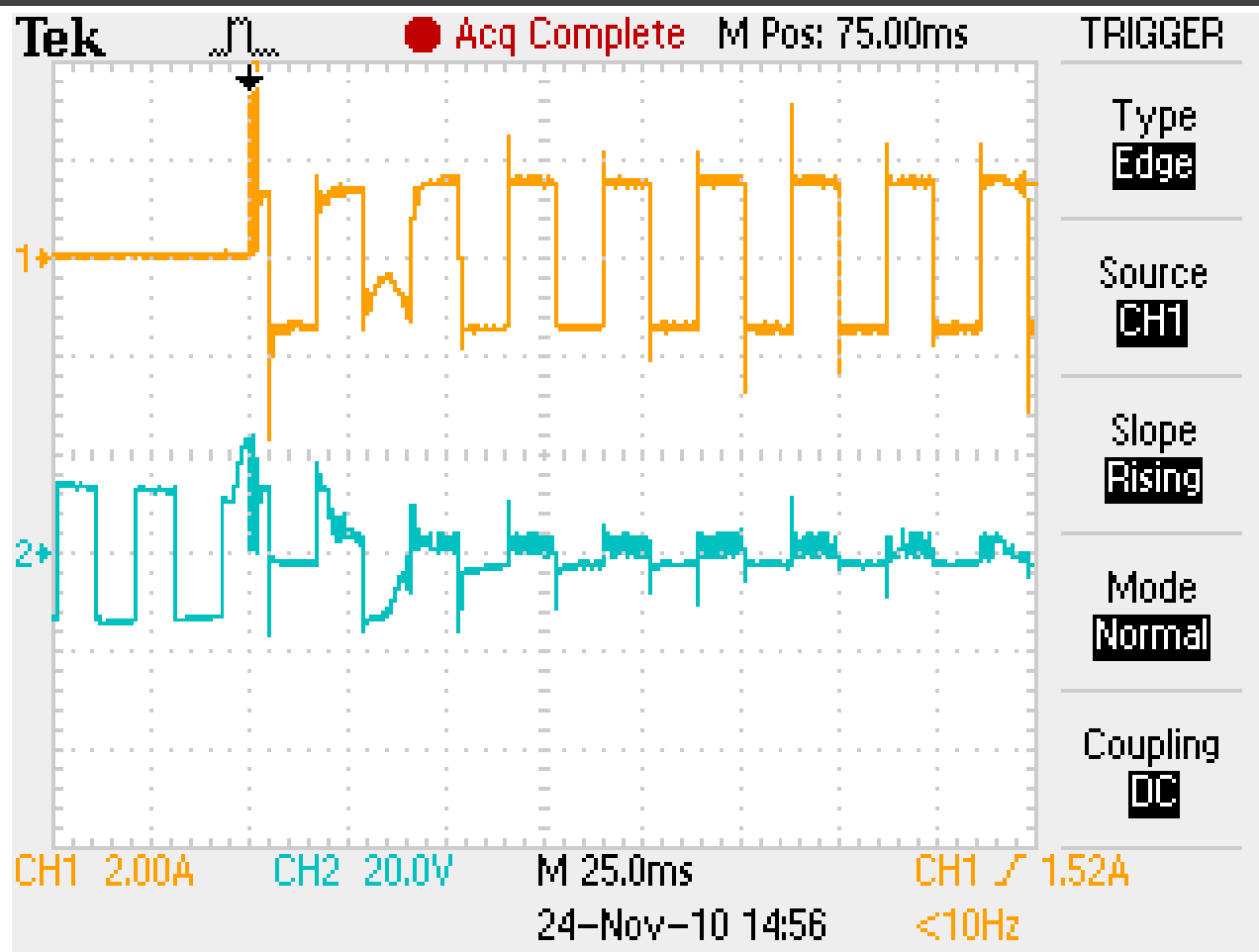
ENERGOELEKTRONICZNE UKŁADY ZASILANIA LAMP HID

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

LAMPY METAHALOGENKOWE

Przykład: MASTERColour CDMTT 70W/942 E27 1SL ZASILANA PRZEZ UKŁAD ELEKTRONICZNY

START (początkowe wyładowanie):



PODSUMOWANIE

ZALETY:

- Wysoka skuteczność świetlna [lm/W].
- Niewielkie wymiary lampy.

WADY:

- Problem restartu. Włączenie przy nagrzanym elektrodach wymaga znacznie większego napięcia zapłonu (do 20kV), lub czasu na schłodzenie lampy.
- Niska wartość CRI lamp sodowych.
- Wyższe napięcie zapłonu lampy (dodatkowy układ zapłonowy jest używany).
- Występowanie rezonansu akustycznego.

DIODY ŚWIETLNE LED - Light-Emitting Diodes

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

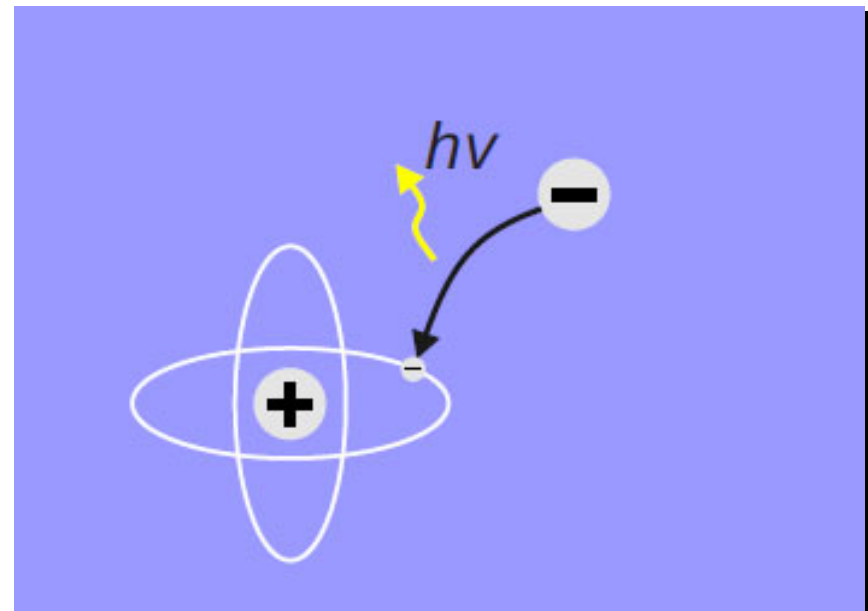
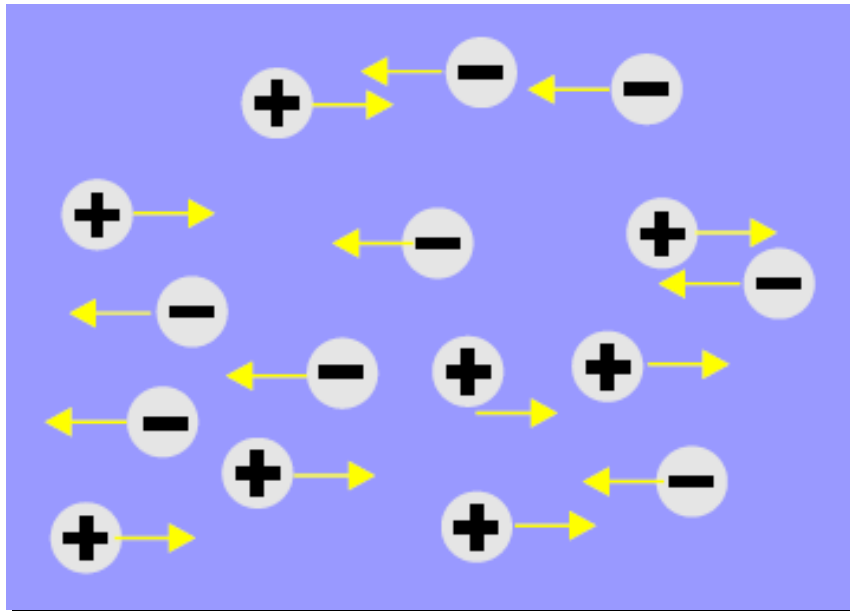
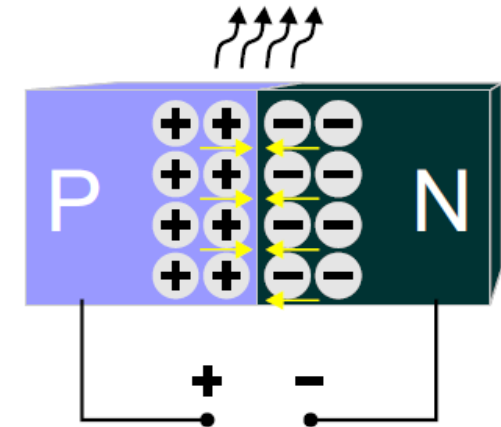




FIZYCZNE PODSTAWY LED

REKOMBINACJA PAR ELEKTRON-DZIURA GENERUJE ŚWIATŁO I CIEPŁO

Dziura wychwytuje elektron, który traci energię (przechodzi z wyższego poziomu energetycznego na niższy) i emituje promieniowanie. Jego częstotliwość zależy od różnicy energii elektronu swobodnego i po rekombinacji.

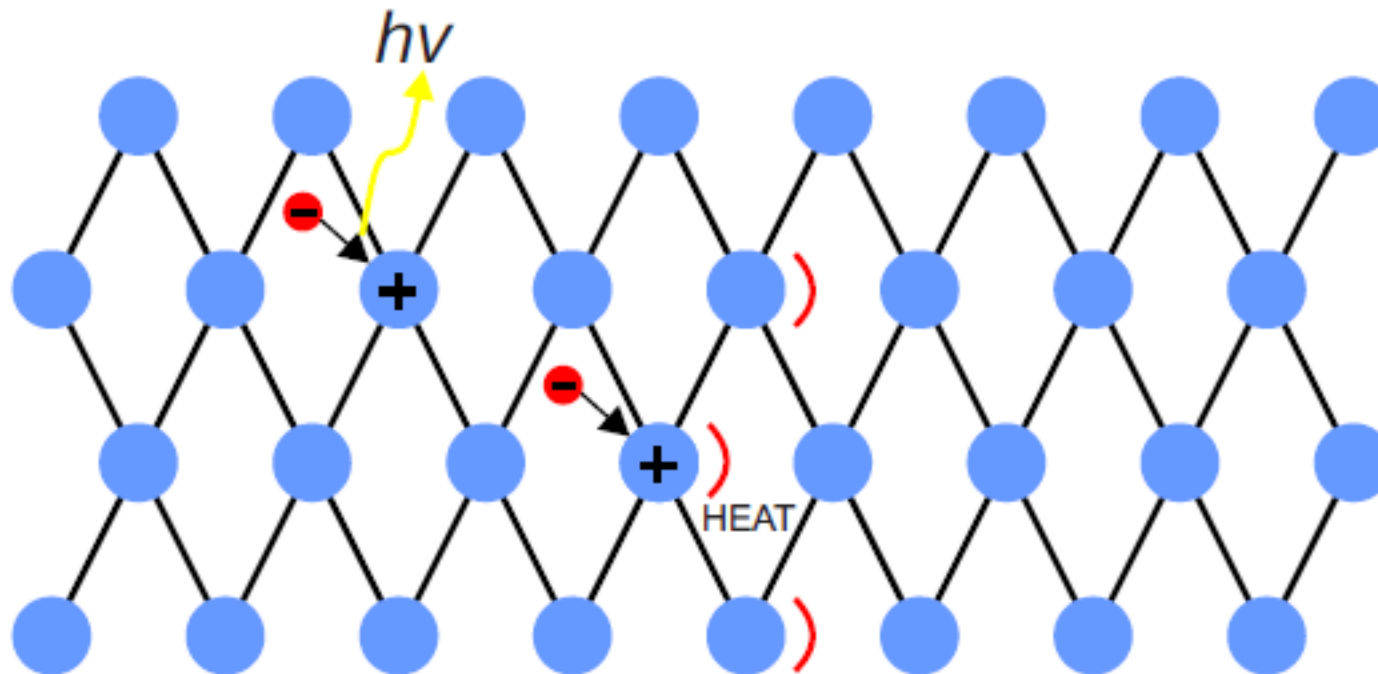


Źródło:

Eric Richman, LC, Pacific Northwest National Laboratory, „LED Technology Basics: What makes it go and some myth busting”, GreenBuild 2010, November 17-18, 2010.



FIZYCZNE PODSTAWY LED



REKOMBINACJA PAR ELEKTRON-DZIURA GENERUJE ŚWIATŁO I CIEPŁO

Źródło:

M. Poplawski, Pacific Northwest National Laboratory: „LED Basics: Technology Fundamentals for Novices”, 2010 DOE SSL Market Introduction Workshop, July 22, 2010



FIZYCZNE PODSTAWY LED – GENEROWANIE ŚWIATŁA BIAŁEGO W

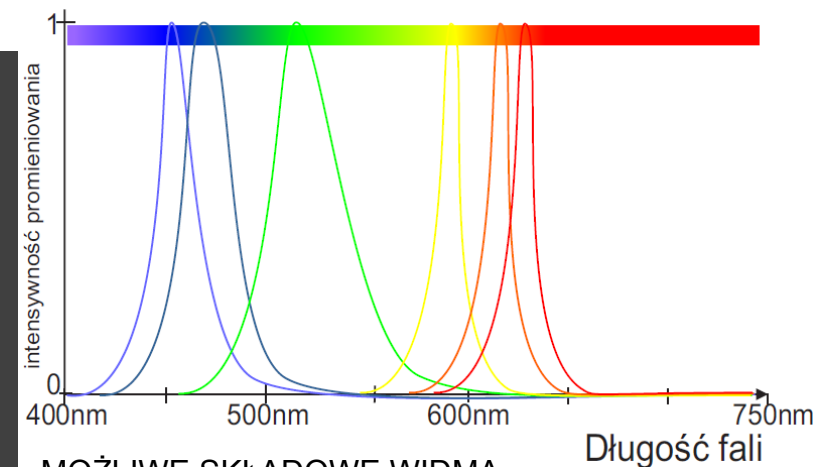
LED

METODY GENEROWANIA ŚWIATŁA BIAŁEGO W LED:

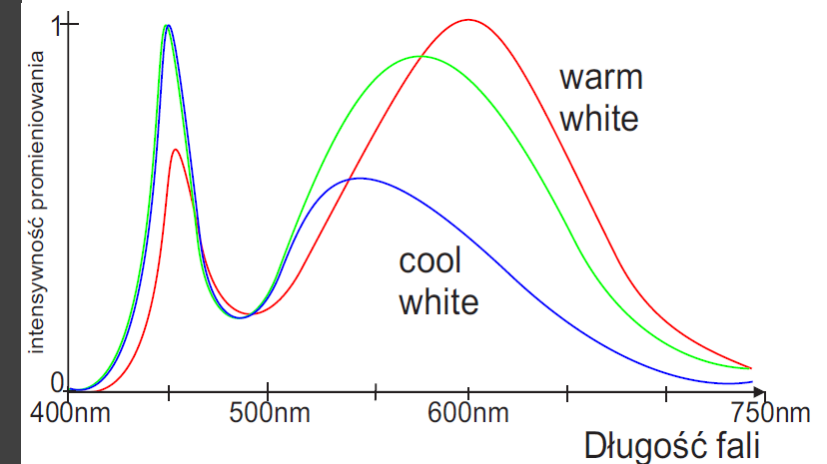
1. ZIMNO BIAŁE ŚWIATŁO: LED EMITUJE ŚWIATŁO NIEBIESKIE, A LUMINOFOR ŻÓŁTE.
2. CIEPŁOBIAŁE ŚWIATŁO: LED EMITUJE ŚWIATŁO NIEBIESKIE, A LUMINOFOR ŻÓŁTE I INNE KOLORY.
3. LED EMITUJE ŚWIATŁO CZERWONE, ZIELONE I NIEBIESKIE.
4. LED EMITUJE UV, A LUMINOFOR RGB.
5. LED EMITUJE KOLOR NIEBIESKI I CZERWONY A LUMINOFOR ŻÓŁTY.

METODY 1 I 2 SĄ NAJCZĘŚCIEJ STOSOWANE.

LUMINOFOR ZMNIEJSZA SPRAWNOŚĆ LED I ULEGA DEGRADACJI W CZASIE I W WYNIKU PODDAWANIA WYSOKIEJ TEMPERATURZE.



MOŻLIWE SKŁADOWE WIDMA



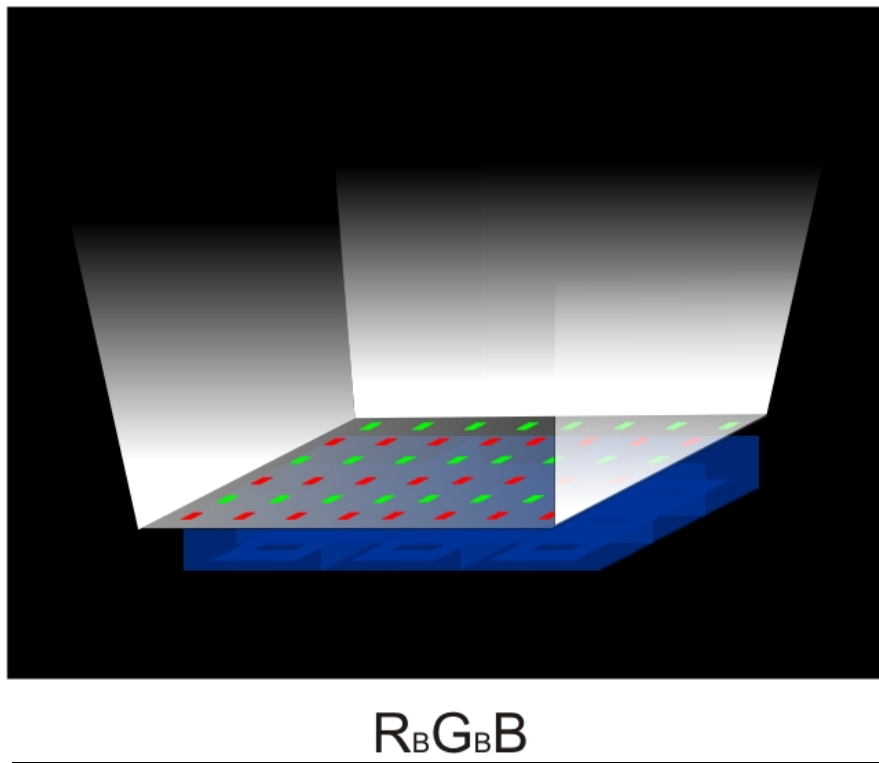
PRZYKŁADOWE WIDMA LAMP LED

Źródło:

M. Poplawski, Pacific Northwest National Laboratory: „LED Basics: Technology Fundamentals for Novices”, 2010 DOE SSL Market Introduction Workshop, July 22, 2010

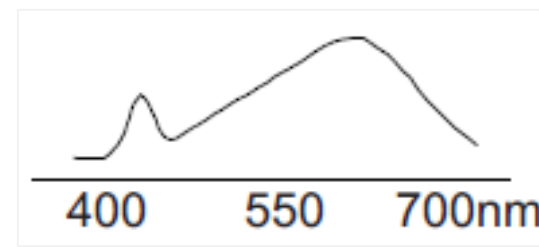


FIZYCZNE PODSTAWY LED – GENEROWANIE ŚWIATŁA BIAŁEGO W DIODACH Z LUMINOFOREM



Najpopularniejsza dioda WHITE LED: InGaN LED, emituje niebieskie światło ($\lambda \approx 440\text{--}460\text{ nm}$), które wzbudza luminofor:

- Najprostszy przypadek: blue LED ($\lambda \approx 440\text{--}460\text{ nm}$) i YAG:Ce³⁺ phosphor ($\lambda \approx 560\text{ nm}$), co daje two-color white LED z (CRI)2 70–80 i (CCT)3 of 4000–8000K. Nie odpowiedni do oświetlenia wnętrz (CRI > 80).
- Dodanie drugiego, czerwonego koloru emisji luminoforu stwarza system 3-kolorowy G_BG_BB o CRI 90, 55 lm/W i CCT 3000–3600 K.

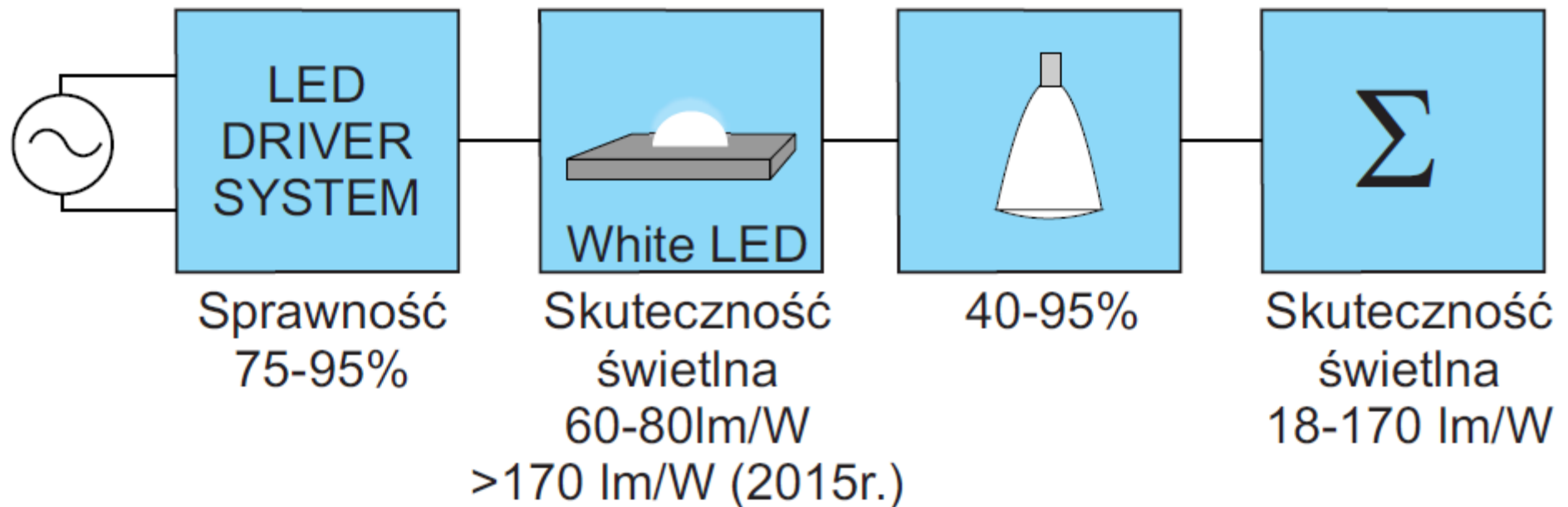


Źródło:

M. H. Crawford, „LEDs for Solid-State Lighting: Performance Challenges and Recent Advances”, IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, VOL. 15, NO. 4, JULY/AUGUST 2009.



SKUTECZNOŚĆ ŚWIETLNA SYSTEMU Z BIAŁĄ DIODĄ ŚWIETLNAŁ LED

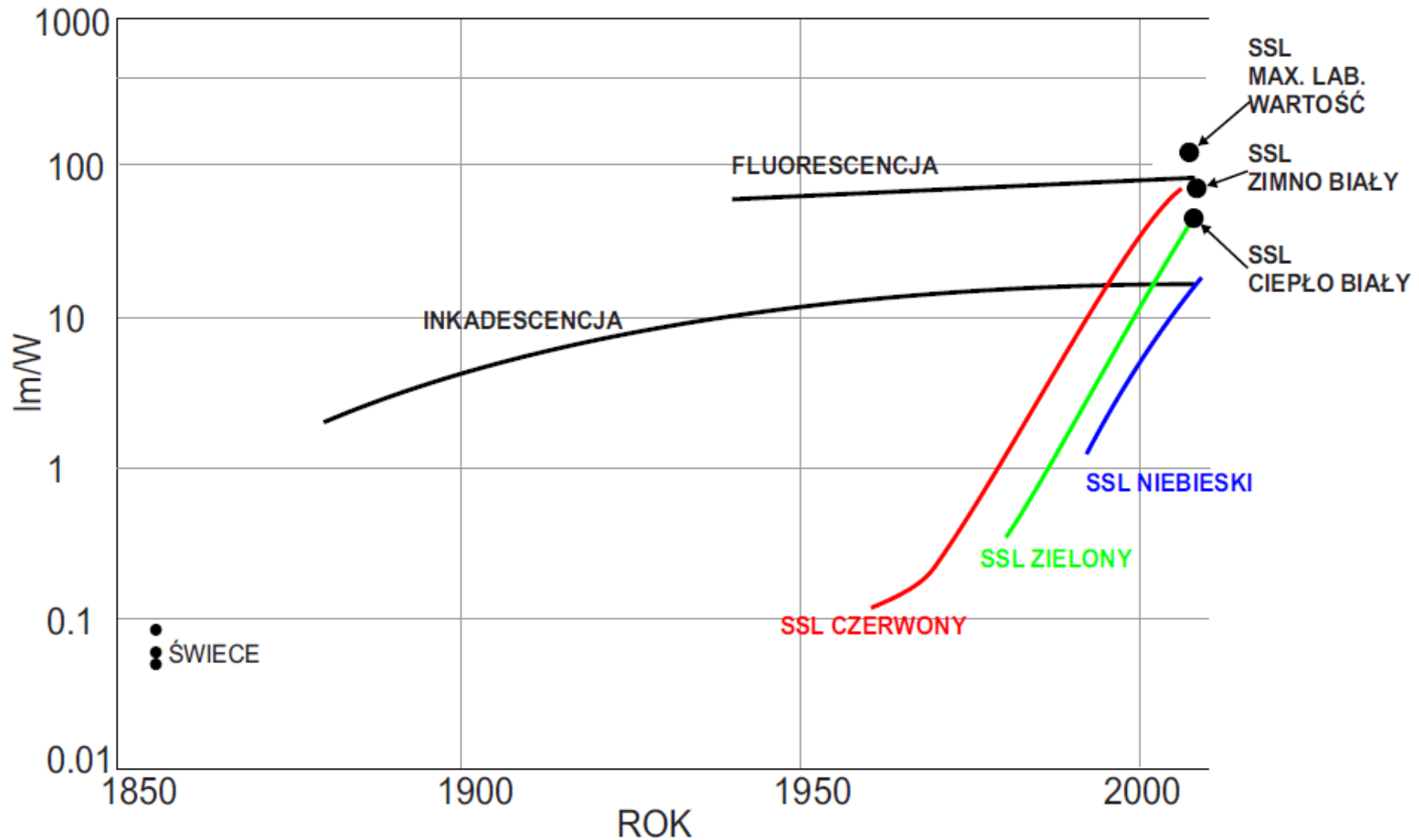


Źródło:

I. L. Azevedo, M. G. Morgan, and F. Morgan, „The Transition to Solid-State Lighting”, Proceedings of the IEEE, Vol. 97, 2009, No. 3, March 2009



SKUTECZNOŚĆ ŚWIETLNA ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA





WŁASNOŚCI APLIKACYJNE DIOD LED

- Skuteczność świetlna (do 150 lm/W)
- Niskie napięcie zasilania (ok. 2.5V - 3.5V)
- Strumień świetlny jest funkcją prądu, co daje duże możliwości kontroli strumienia,
- Możliwość doboru lampy z wymaganym widmem, kolorem i temperaturą barwową,
- Trwałość przynajmniej 50000 godzin przy efektywności na poziomie nie mniejszym niż 70% wartości początkowej,
- Wymagany radiator dla zapewnienia katalogowego strumienia świetlnego i trwałości,
- Kąt emitowanego światła i odpowiednia optyka umożliwiają zwiększenie efektywności systemu oświetlenia,
- Lampa LED nie stwarza zagrożenia z powodu wysokiego napięcia, zatrucia rtęcią i innymi trującymi gazami, emisją UV, i wysoką temperaturą,
- Lampa LED ma niewielkie wymiary

Źródła:

National Semiconductor: „LED Drivers for High-Brightness Lighting Solutions Guide”, National Semiconductor Corporation, Sept. 2009.

Cree, Inc: „LED Luminaire Design Guide”, 2007 Cree, Inc, 1-888-9LIGHT1, CLD-AP15.000,

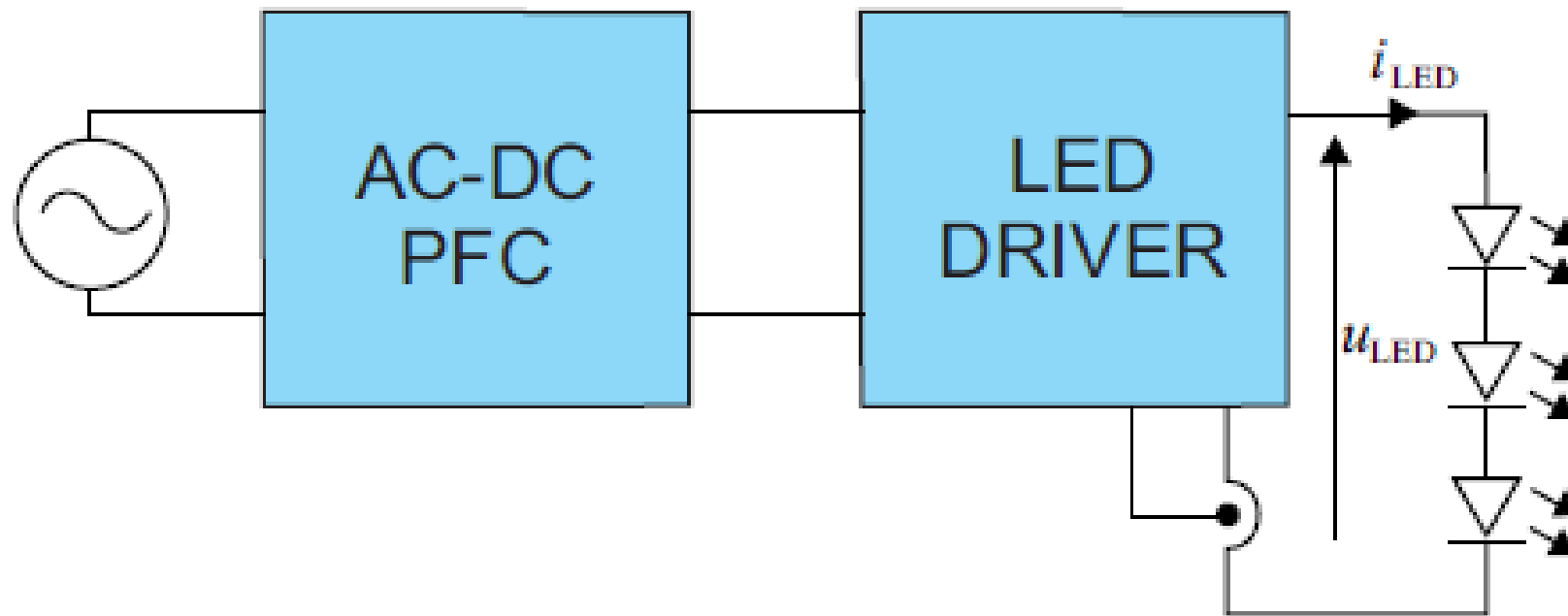
PHILIPS Technology White Paper: „Understanding power LED lifetime analysis How intuitive graphical data sets help lighting designers accurately predict power LED reliability in different operating environments”,

Future Lighting Solutions; Making LED lighting solutions simple™, „Wide Area Lighting. Designer’s Guide”.



WŁASNOŚCI APLIKACYJNE DIOD LED

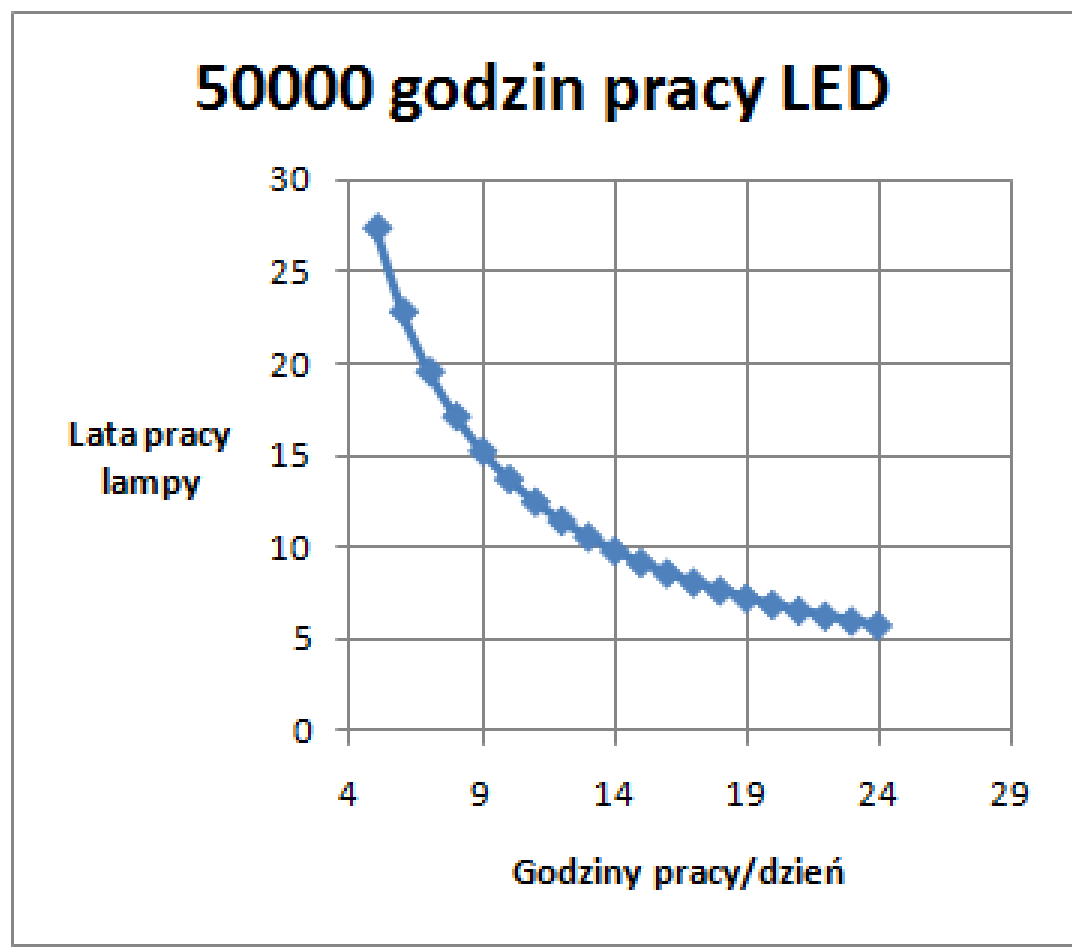
- Niskie napięcie zasilania (ok. 3V)
- Strumień świetlny jest funkcją prądu, co daje duże możliwości kontroli strumienia,





WŁASNOŚCI APLIKACYJNE DIOD LED

- Trwałość przynajmniej 50000 godzin przy efektywności na poziomie nie mniejszym niż 70% wartości początkowej (32.2 lat przy użyciu LED przez 4 godz. dziennie) [49],



DIODY ŚWIETLNE LED



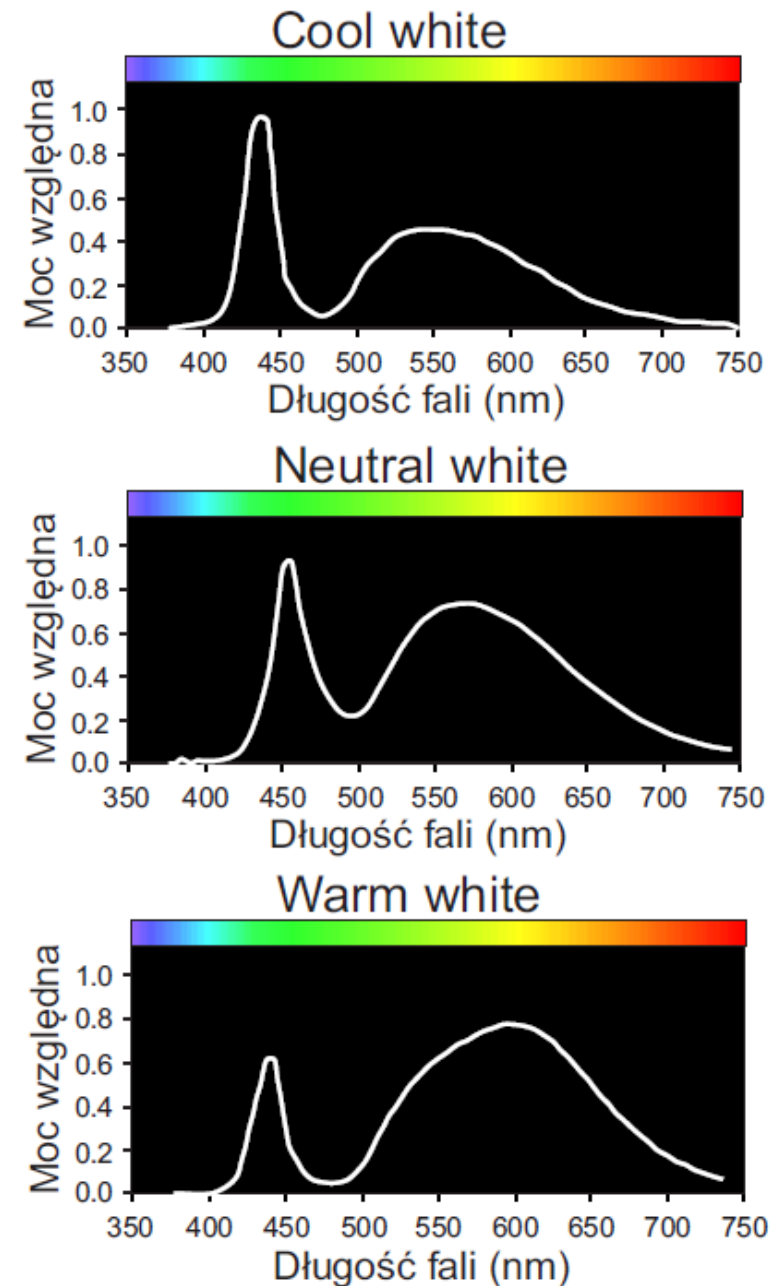
Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

WŁASNOŚCI APLIKACYJNE DIOD LED

- Możliwość doboru lampy z wymaganym widmem, kolorem i temperaturą barwowa,

	Color Temperature CCT		
	Min	Typ	Max
Cool White	4500 K	6500 K	10000 K
Neutral White	3500K	4100K	4500K
Warm White	2650K	3000K	3500K

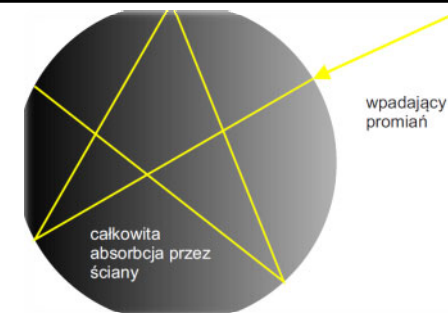
Źródło: Luxeon Technical Datasheet DS51: „Power Light Źródło LUXEON K2”



BARWA I KOLOR ŚWIATŁA – TEMPERATURA BARWOWA

Podgrzany metal lub ciało doskonale czarne zmienia kolor promieniowania od czerwonego, przez żółty do białoniebieskiego. Kolor źródła światła można określić przez porównanie do koloru promieniowania metalu w danej temperaturze w Kelwinach [K].

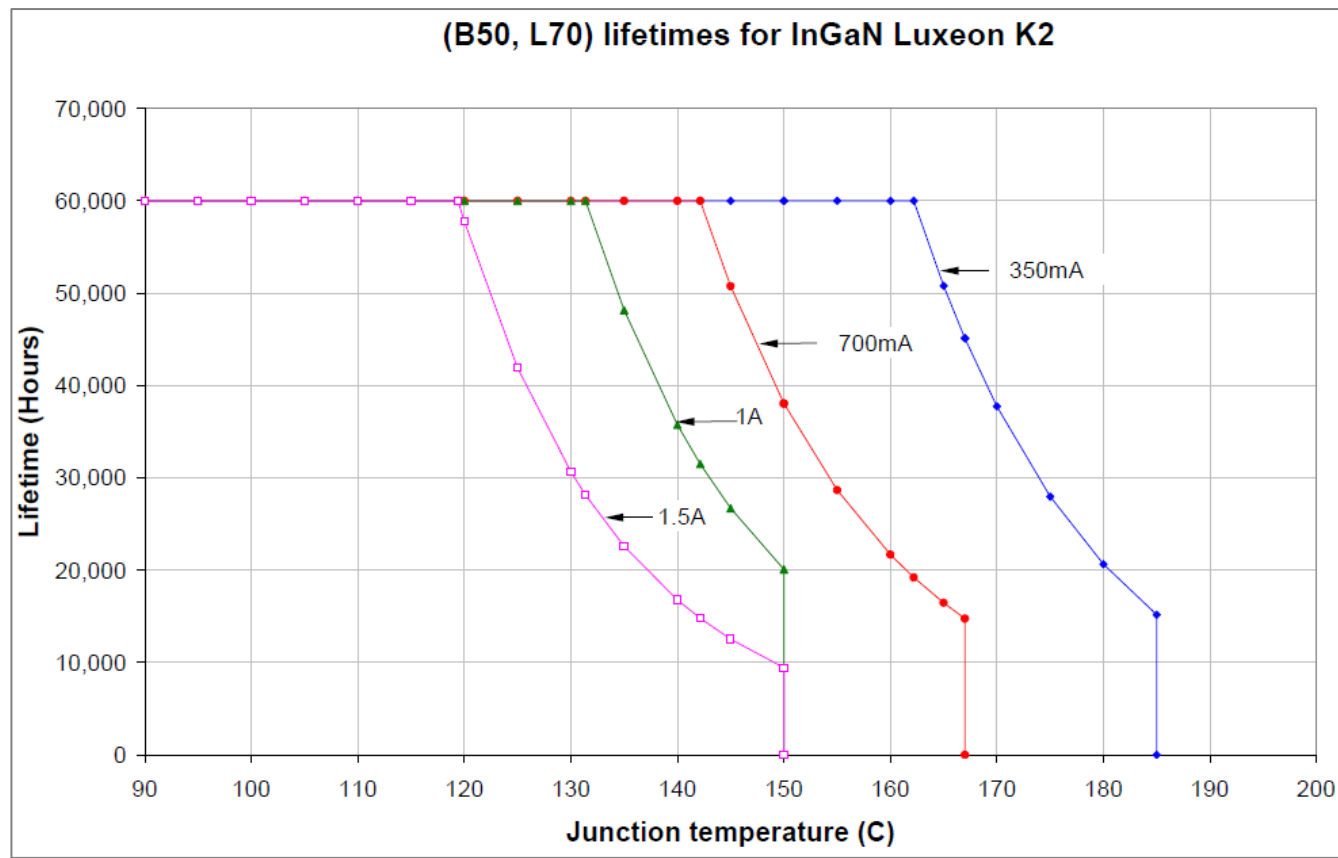
Jest to parametr **CCT** –
Correlated Color Temperature
(TEMPERATURA BARWOWA)





WŁASNOŚCI APLIKACYJNE DIOD LED

- Wymagany radiator dla zapewnienia katalogowego strumienia świetlnego i trwałości [50],



Źródło: PHILIPS Technology White Paper: „Understanding power LED lifetime analysis How intuitive graphical data sets help lighting designers accurately predict power LED reliability in different operating environments”,

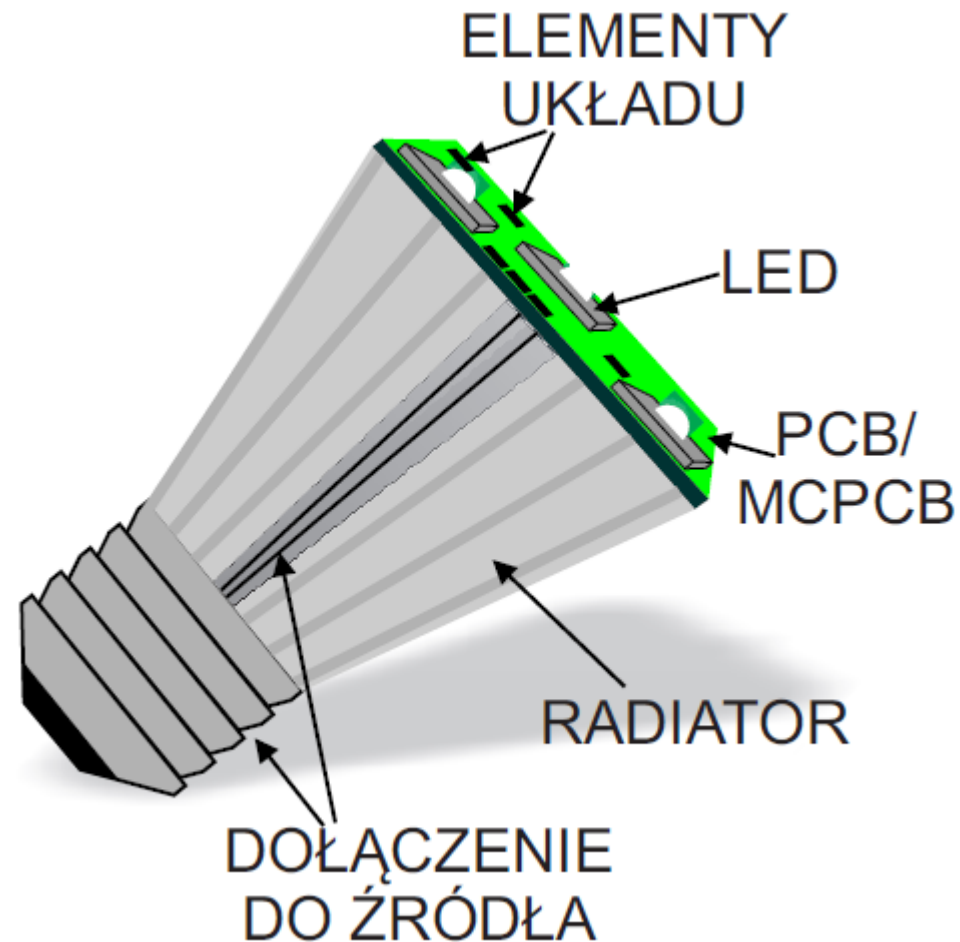
DIODY ŚWIETLNE LED



Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

WŁASNOŚCI APLIKACYJNE DIOD LED

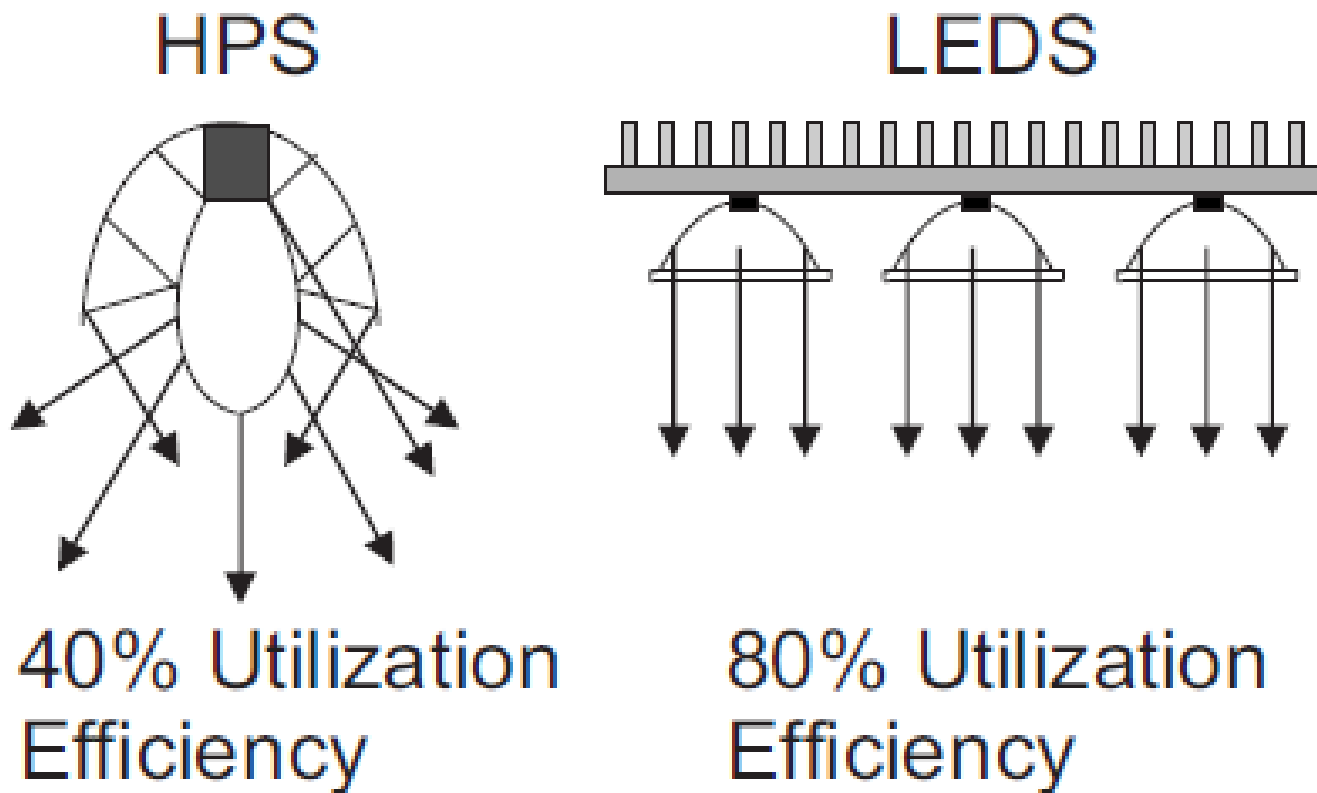
BUDOWA LAMPY LED





WŁASNOŚCI APLIKACYJNE DIOD LED

- Kąt emitowanego światła i odpowiednia optyka umożliwiają zwiększenie efektywności systemu oświetlenia,



ZASILANIE I REGULACJA STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LED

APLIKACJE LAMP LED

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

- oświetlenie dekoracyjne i iluminacje
- podświetlenie LCD
- światła samochodowe
- lampy sygnalizacyjne,
- lampy zasilane bateryjnie
- **zastąpienie żarówek** - oświetlenie

ZASILANIE I REGULACJA STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LED

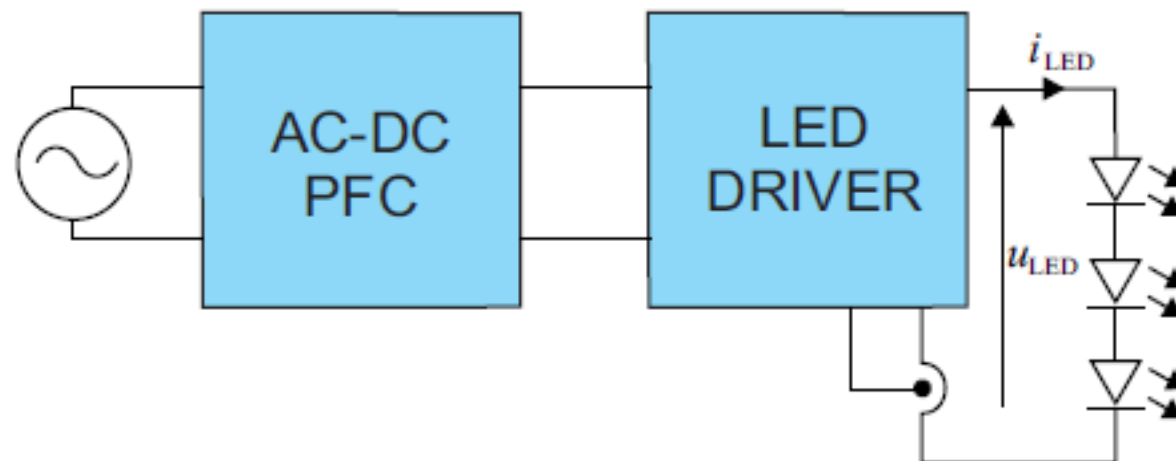
IDEA METOD REGULACJI LED

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

LED ma napięcie ok. 3V i prąd 0-1400mA.

Prąd LED silnie zależy od napięcia, strumień świetlny od natężenia prądu – LED zasilane są przeważnie przez układ kontroli prądu lub napięcia diody:

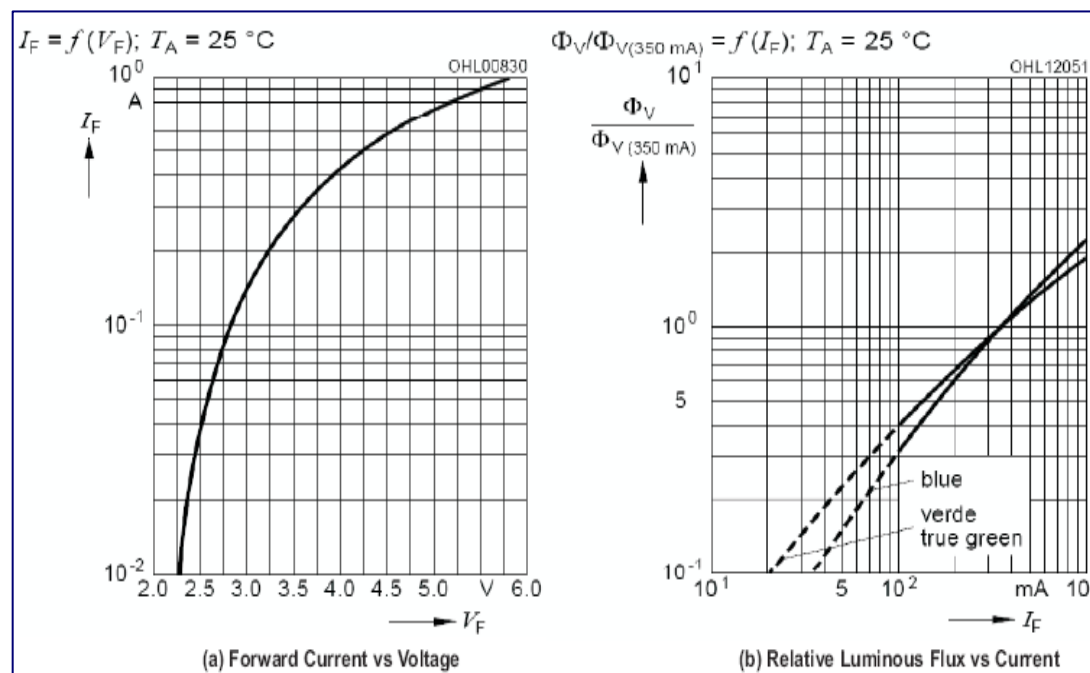
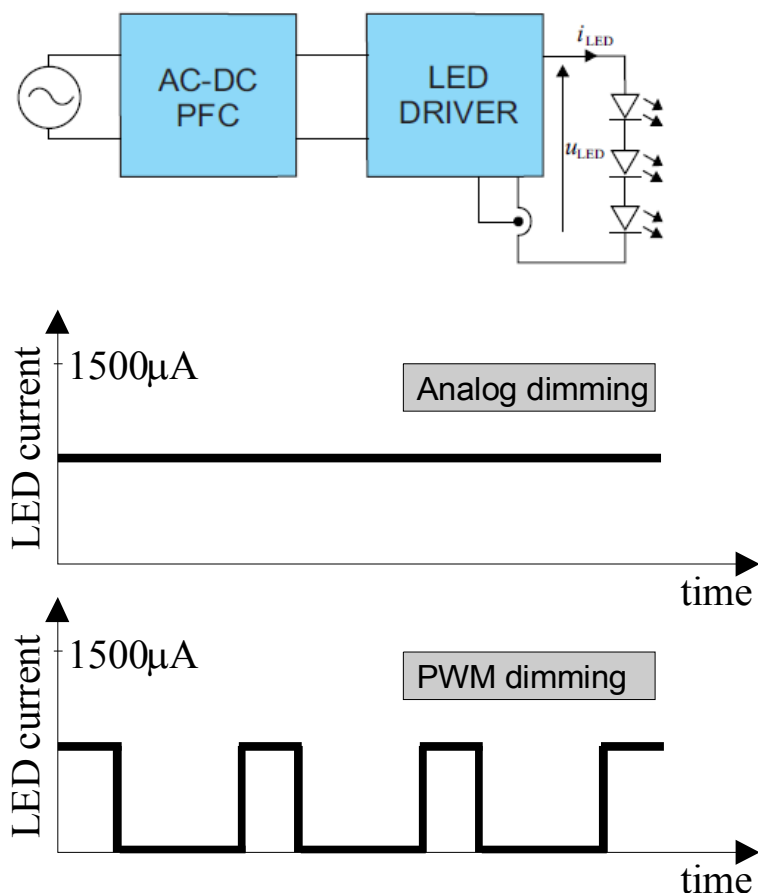
- Nie występuje efekt flickera,
- Duży zakres regulacji strumienia świetlnego,
- Możliwa regulacja temperatury barwowej i koloru,
- Zastosowanie układu PFC zmniejsza negatywne oddziaływanie lampy na system elektroenergetyczny,
- W wielu przypadkach należy uwzględnić izolację niskonapięciowych układów z LED od sieci.



ZASILANIE I REGULACJA STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LED

IDEA METOD REGULACJI STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LED

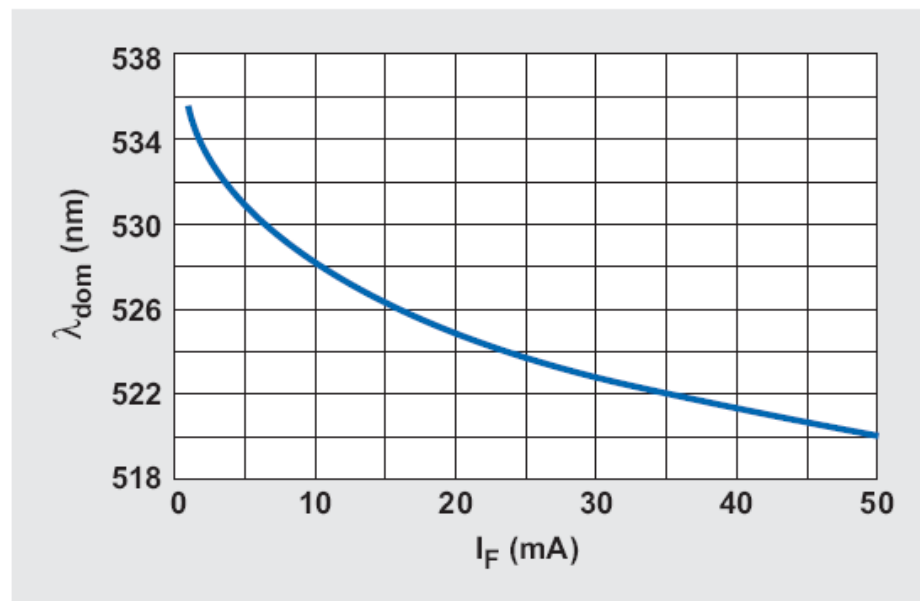
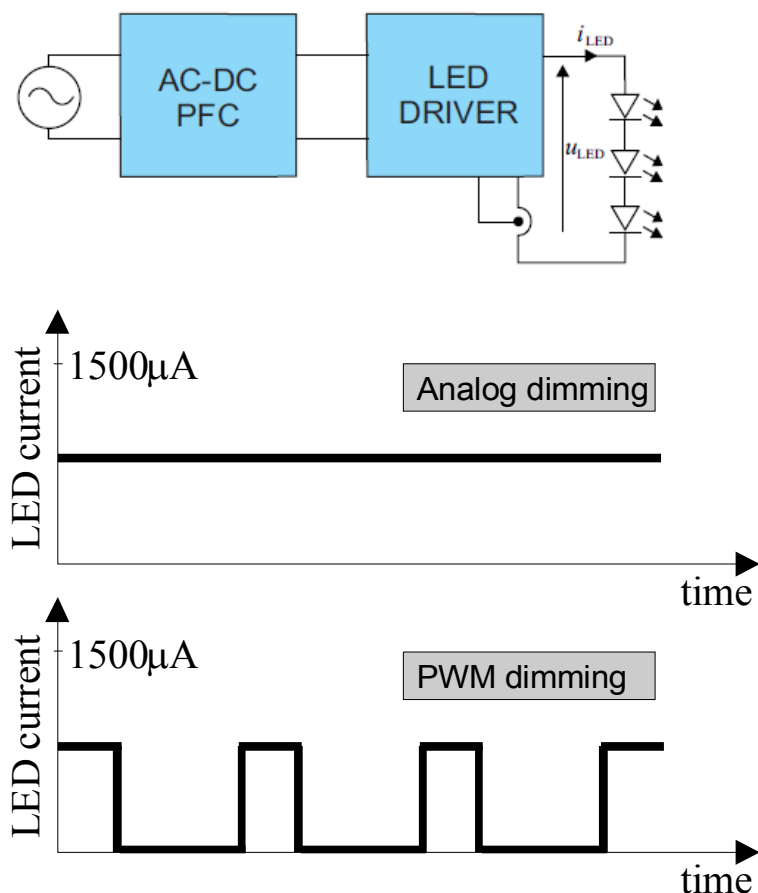
Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.



ZASILANIE I REGULACJA STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LED

IDEA METOD REGULACJI STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LED

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.



analogowy sposób regulacji strumienia może spowodować zmianę koloru światła LED

ZASILANIE I REGULACJA STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LED

WYMAGANIA DLA UKŁADU ZASILAJĄCEGO

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

- Kontrola prądu diod,
- Wysoka sprawność,
- Regulacja PWM strumienia świetlnego,
- Zabezpieczenie nadnapięciowe,
- Kontrola braku obciążenia,
- Niewielki rozmiar,
- Niski stopień komplikacji.

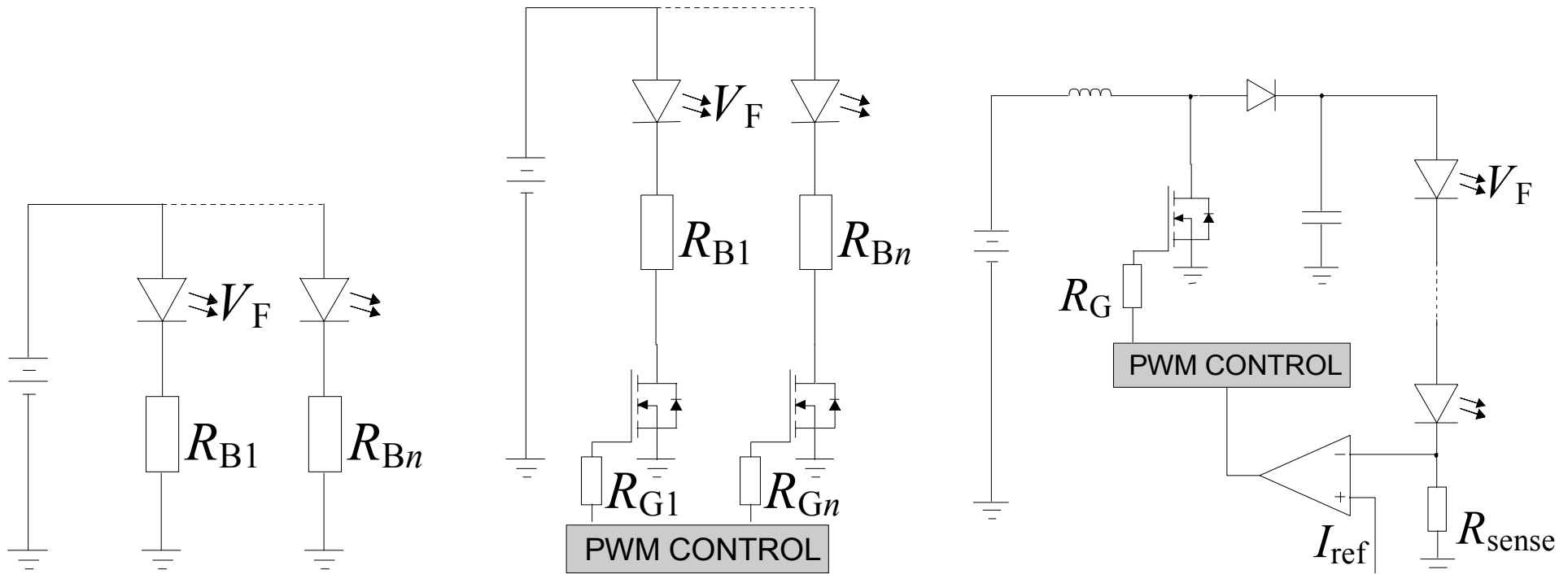
Topologie przekształtnika, parametry elektryczne (napięcie wyjściowe, zakres napięcia wejściowego, natężenie prądu wyjściowego) zależą od aplikacji (ilość i moc diod LED, wymogi dla ściemniania i sterowania)

NIEKTÓRE KRYTERIA MOGĄ BYĆ SPRZECZNE

ZASILANIE I REGULACJA STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LED

IDEA METOD REGULACJI STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LED

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.



Źródło napięcia i rezystor ograniczający:
 $I_{LED} = (V_{in} - V_F) / R_{Bn}$

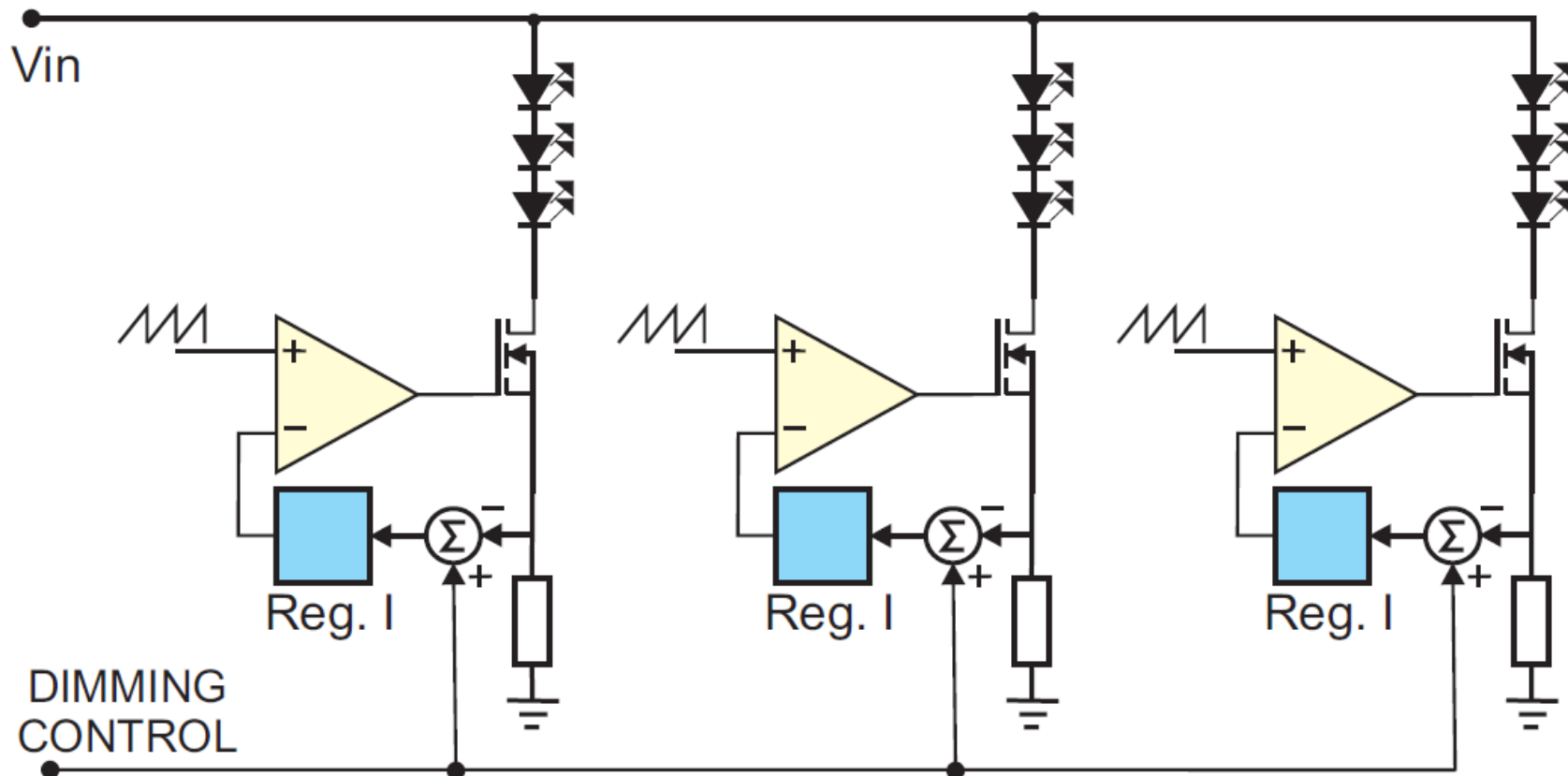
Źródło napięcia, rezystor ograniczający. Modulacja prądu gałęzi z diodą

Przekształtnik impulsowy i kontrola prądu diod

ZASILANIE I REGULACJA STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LED

IDEA METOD REGULACJI STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LED

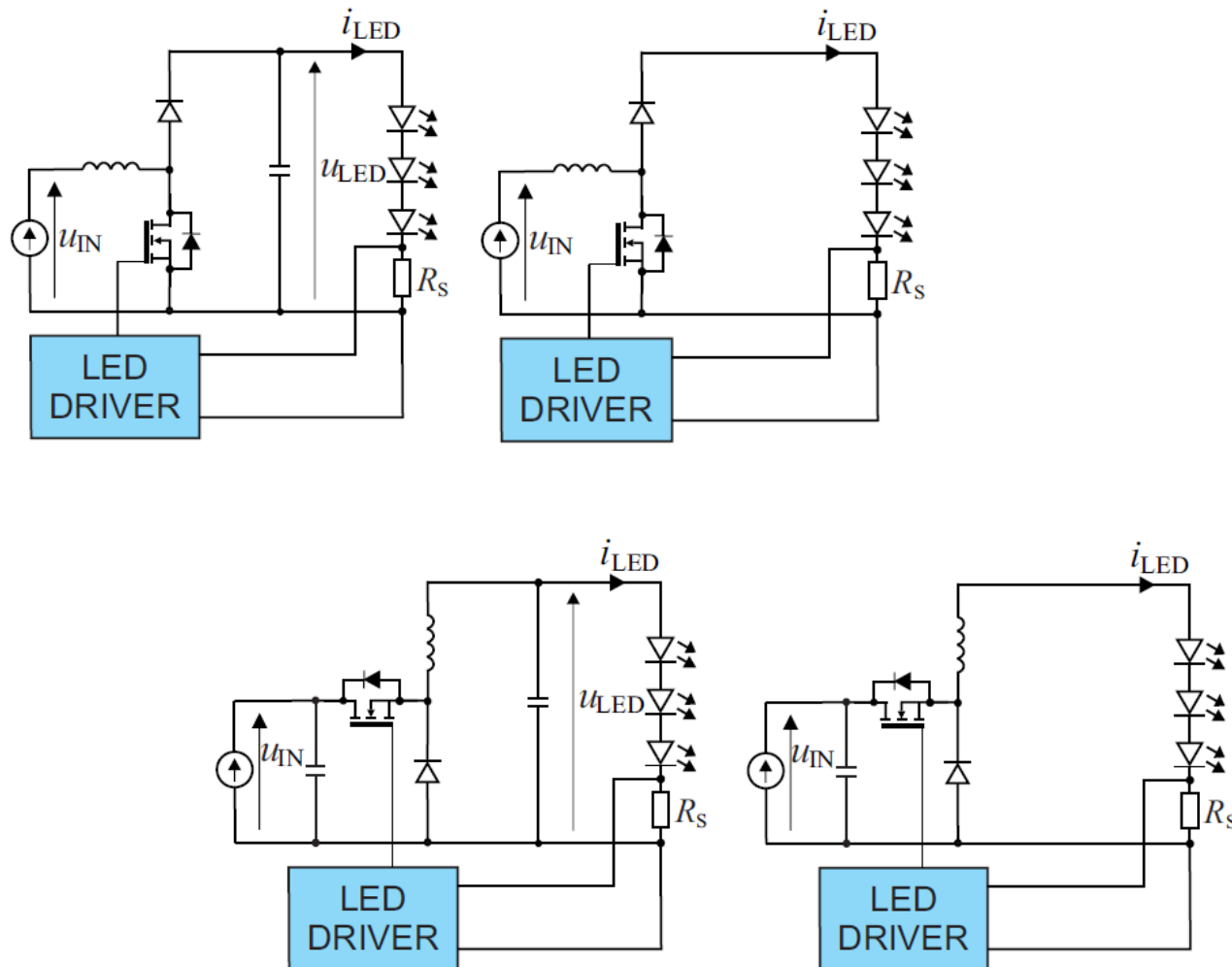
Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.



ZASILANIE I REGULACJA STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LED

PRZEKSZTAŁTNIKI IMPULSOWE W UKŁADACH ZASILANIA LED

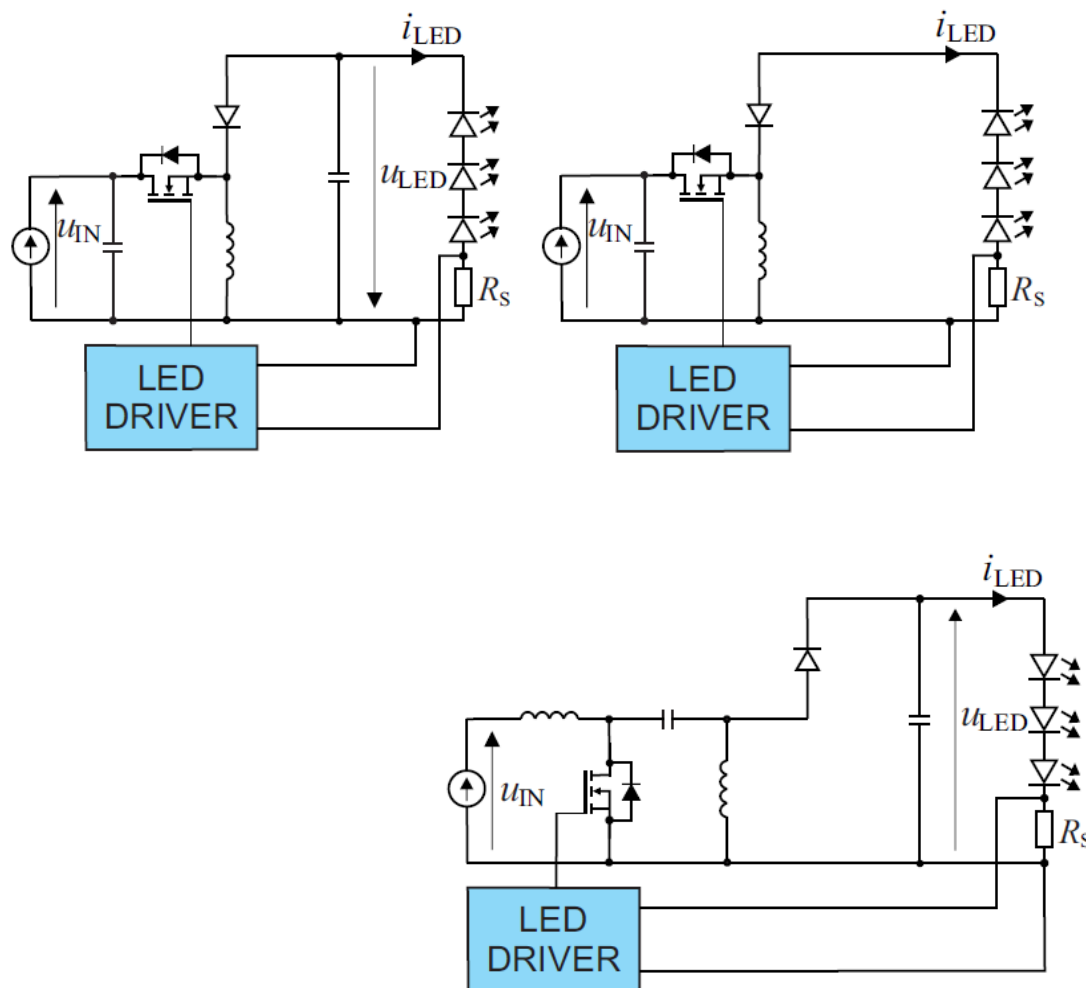
Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.



ZASILANIE I REGULACJA STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LED

PRZEKSZTAŁTNIKI IMPULSOWE W UKŁADACH ZASILANIA LED

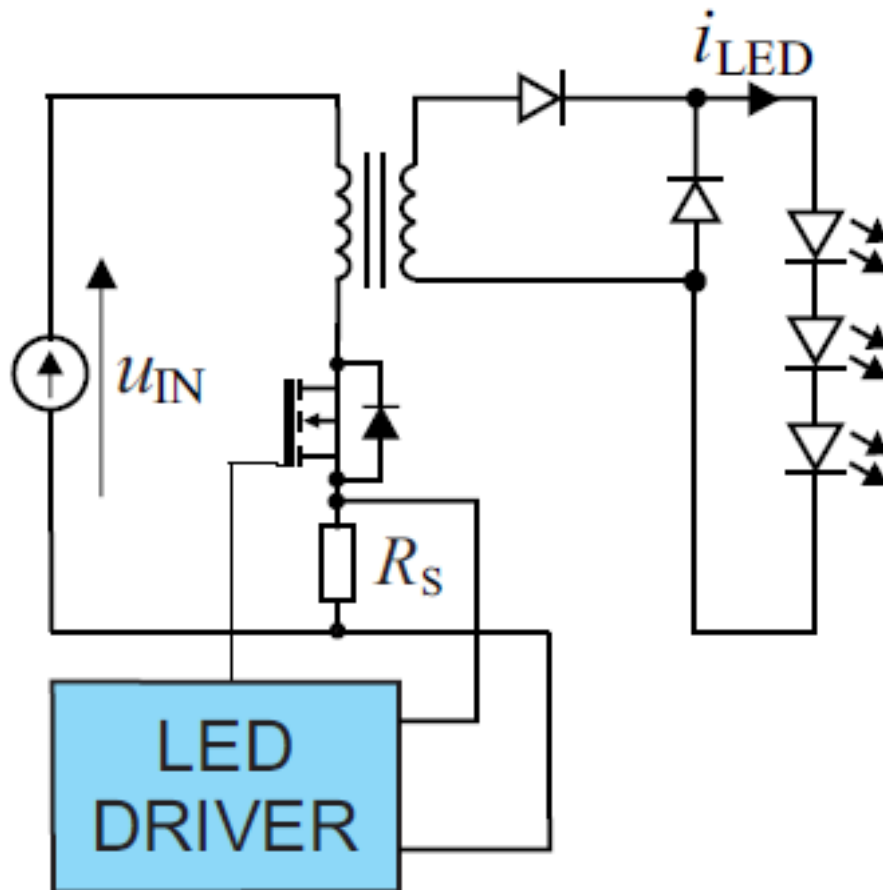
Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.



ZASILANIE I REGULACJA STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LED

PRZEKSZTAŁTNIKI IMPULSOWE W UKŁADACH ZASILANIA LED

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

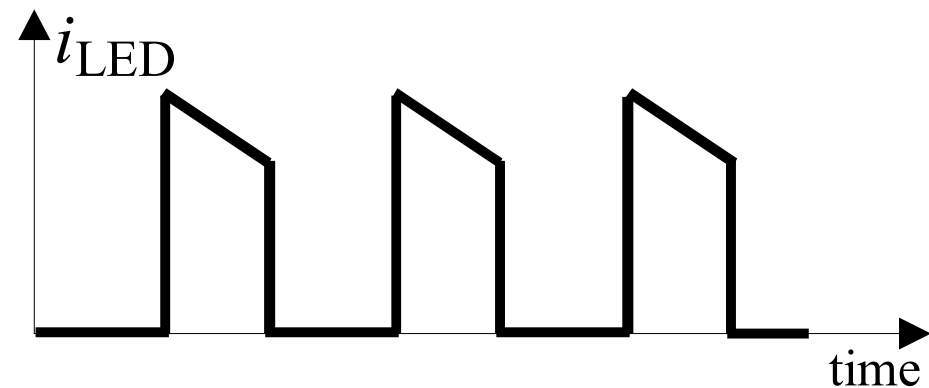
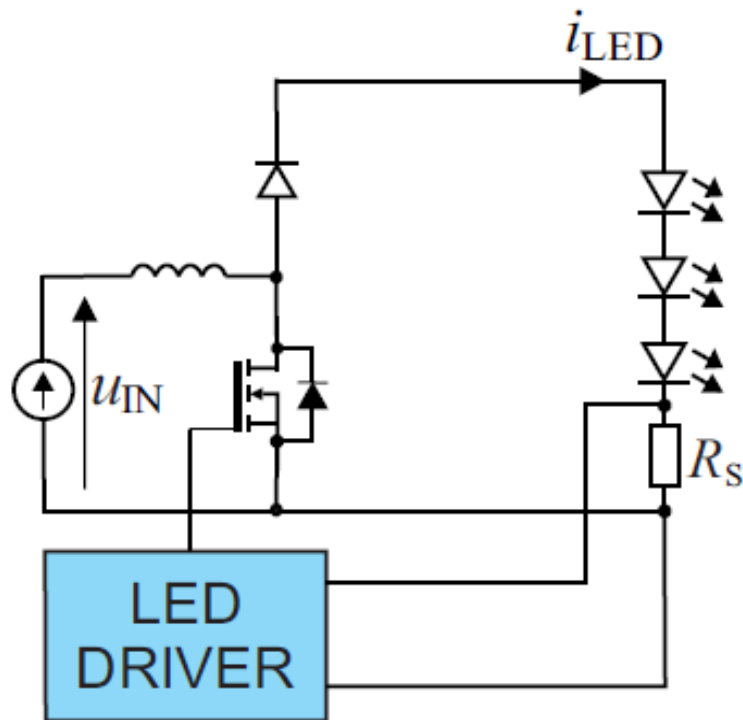


ZASILANIE I REGULACJA STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LED

PRZEKSZTAŁTNIKI IMPULSOWE W UKŁADACH ZASILANIA LED

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

PRĄD DIOD LED W UKŁADZIE Z PRZEKSZTAŁTNIKIEM DC-DC BOOST



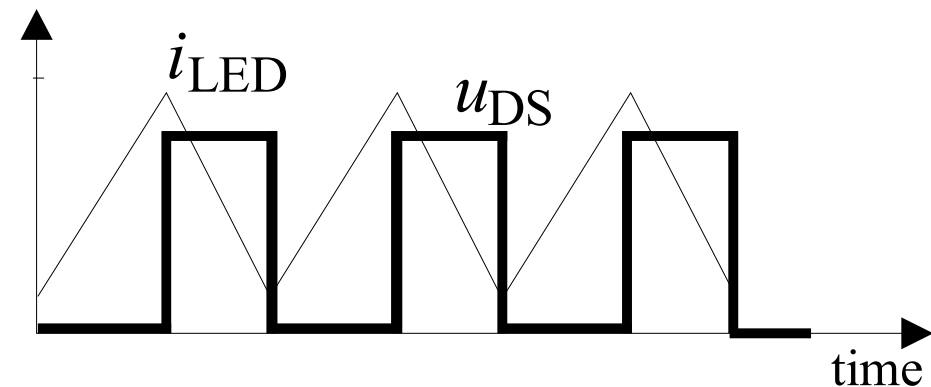
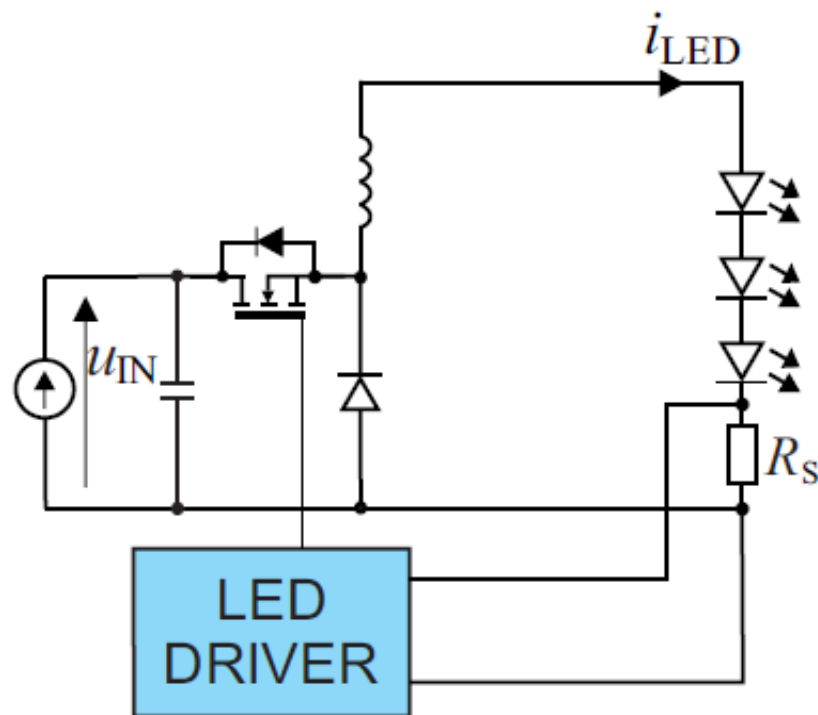
W układzie z przekształtnikiem DC-DC boost, przebieg prądu diod LED może być zbliżony do prostokątnego.

ZASILANIE I REGULACJA STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LED

PRZEKSZTAŁTNIKI IMPULSOWE W UKŁADACH ZASILANIA LED

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

PRĄD DIOD LED W UKŁADZIE Z PRZEKSZTAŁTNIKIEM DC-DC BUCK



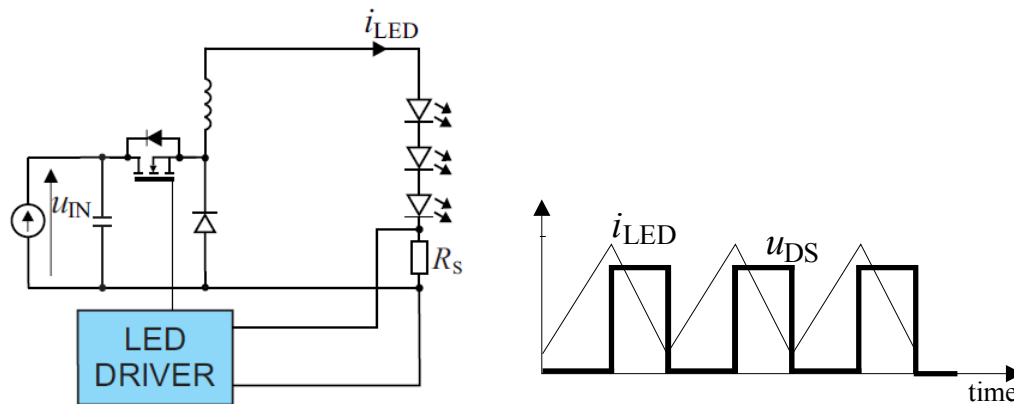
W układzie z przekształtnikiem DC-DC buck, w przebiegu prądu diod LED może występować znaczna składowa zmienna.

ZASILANIE I REGULACJA STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LED

PRZEKSZTAŁTNIKI IMPULSOWE W UKŁADACH ZASILANIA LED

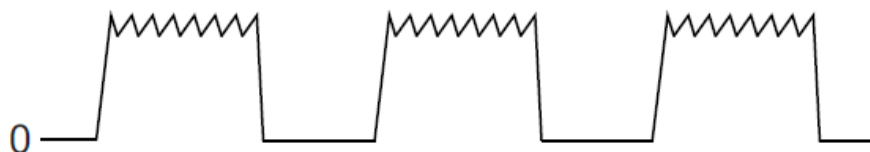
Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

DIMMING DIOD LED W UKŁADZIE Z TRÓJKĄTNYM PRĄDEM LED



DIMMING – OKRESOWE ZMIANY WARTOŚCI PRĄDU DLA UZYSKANIA PRZEBIEGU PROSTOKĄTNEGO NISKIEJ

- DUŻA CZĘSTOTLIWOŚĆ IMPULSOWANIA (MHz),
- NIEWIELKA WARTOŚĆ INDUKCYJNOŚCI DŁAWIKA



ZASILANIE I REGULACJA STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LED

PFC Zasilanie napięciem przemiennym

Układy PFC

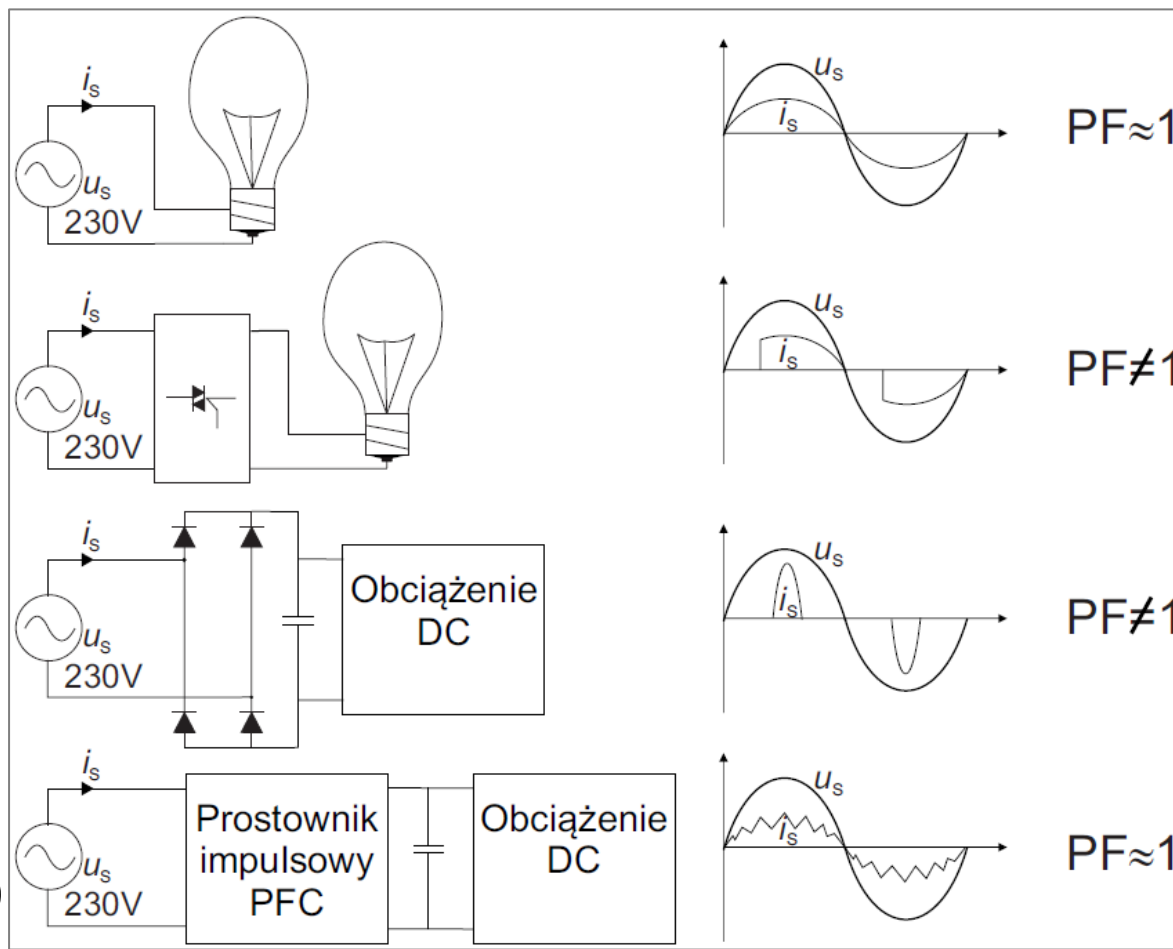
Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

PFC Power Factor Correction –
układy o poprawionym
współczynniku mocy: $PF=P/S$

Dlaczego PFC?

- mniejsza wartość skuteczna prądu sieci
- mniejsza zawartość harmoniczných
- typowo PF (0.5-0.7), THD (> 100%) dla prostownika diodowego z kondensatorem a PF=0.99 dla układu PFC [1].
- mniejsze straty energii w sieci i transformatorach
- mniejsze obciążenie przewodu neutralnego w układach trójfazowych
- mniejsze oddziaływanie na pracę silników

$$PF=P/(U_S I_S) \Rightarrow I_S=P/(PF \cdot U_S)$$



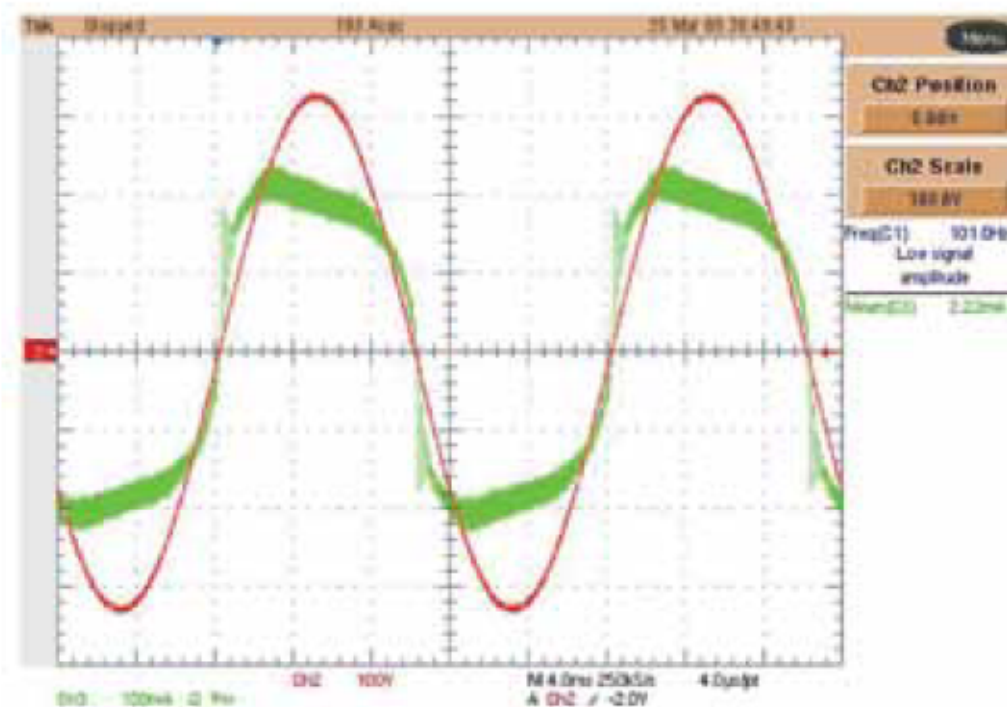
U_S, I_S – wartości skuteczne prądu i napięcia sieci

ZASILANIE I REGULACJA STRUMIENIA ŚWIETLNEGO LED

Zasilanie lamp LED napięciem przemiennym – przykładowe przebiegi

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

AC Input Current and Voltage at Full Load and Nominal Input Voltage

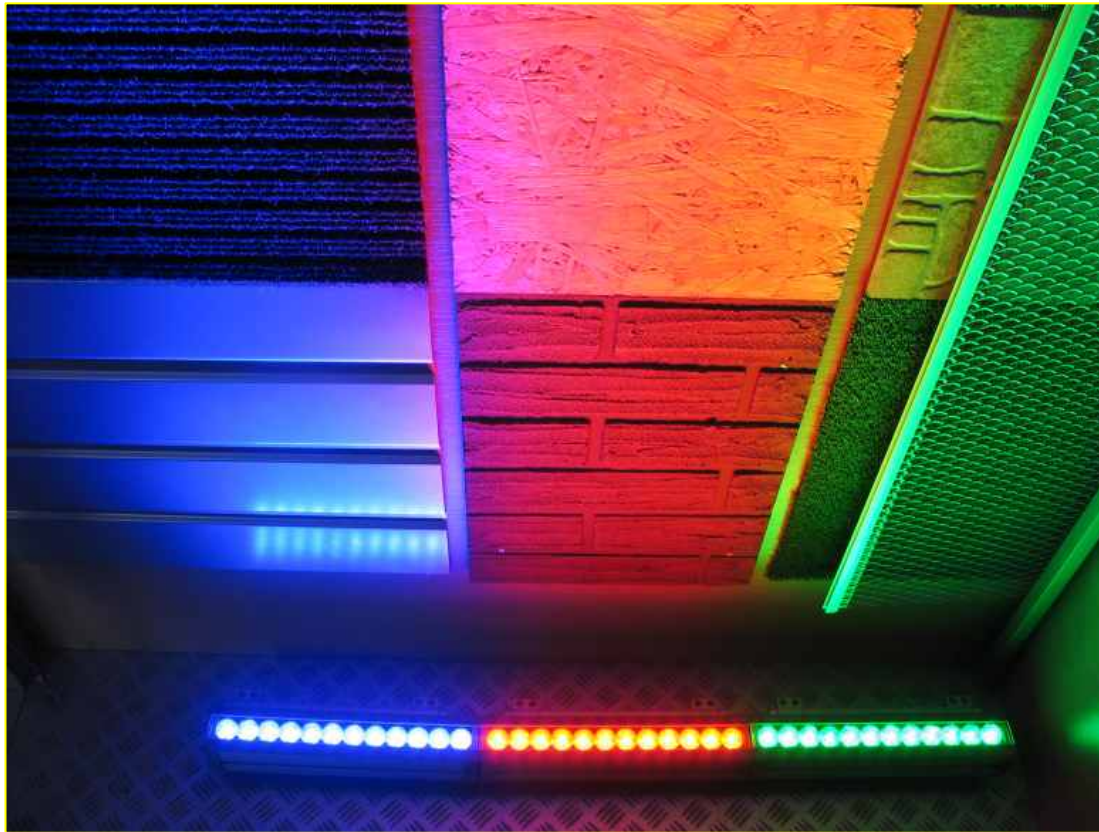


Źródło: Texas Instruments: „LED Reference Design Cookbook”, Texas Instruments 4Q 2009.
Texas Instruments: „LED Reference Design Cookbook”, Texas Instruments 4Q 2009

DIODY ŚWIETLNE LED

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

ILUMINACJA OBIEKTÓW ARCHITEKTONICZNYCH



Iluminacja LED włączona



Iluminacja LED wyłączona

Źródło: Zdjęcia ze stanowiska prezentera nowoczesnych systemów oświetleniowych firmy Philips. AGH Katedra Automatyki Napędu i Urządzeń Przemysłowych

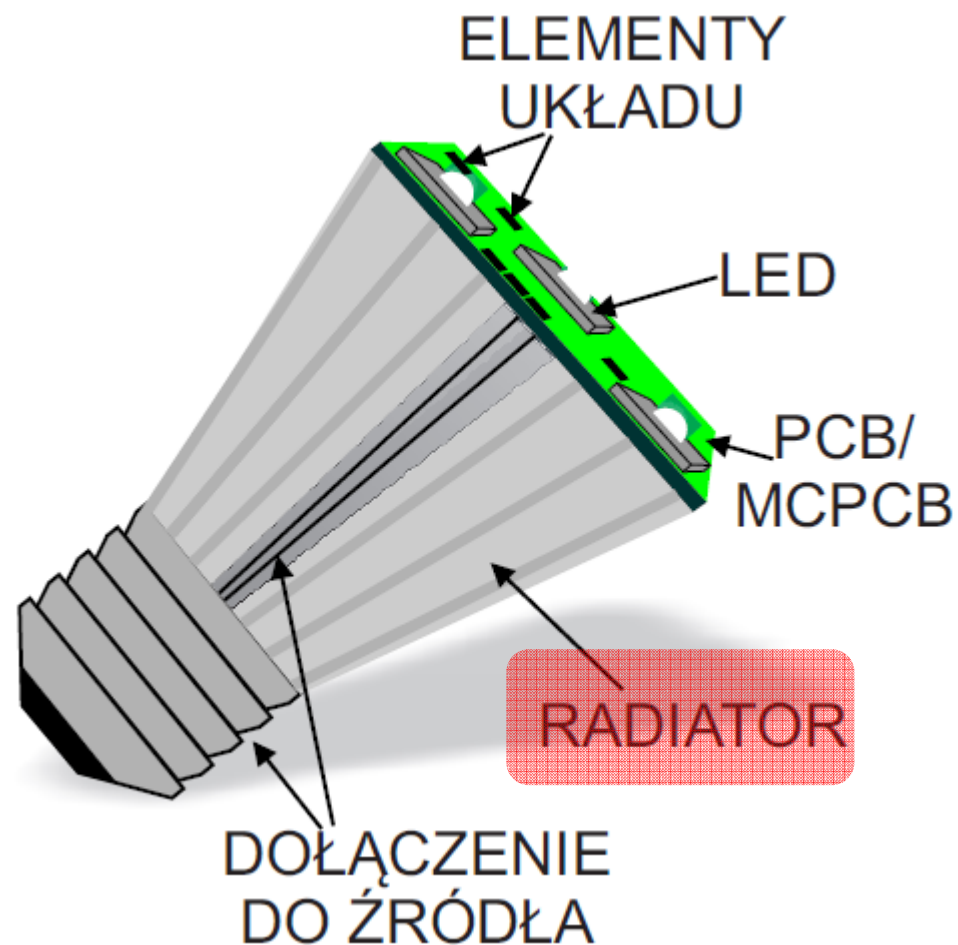
TEMPERATURA DIOD ŚWIETLNYCH LED



WŁASNOŚCI APLIKACYJNE DIOD LED

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

BUDOWA LAMPY LED



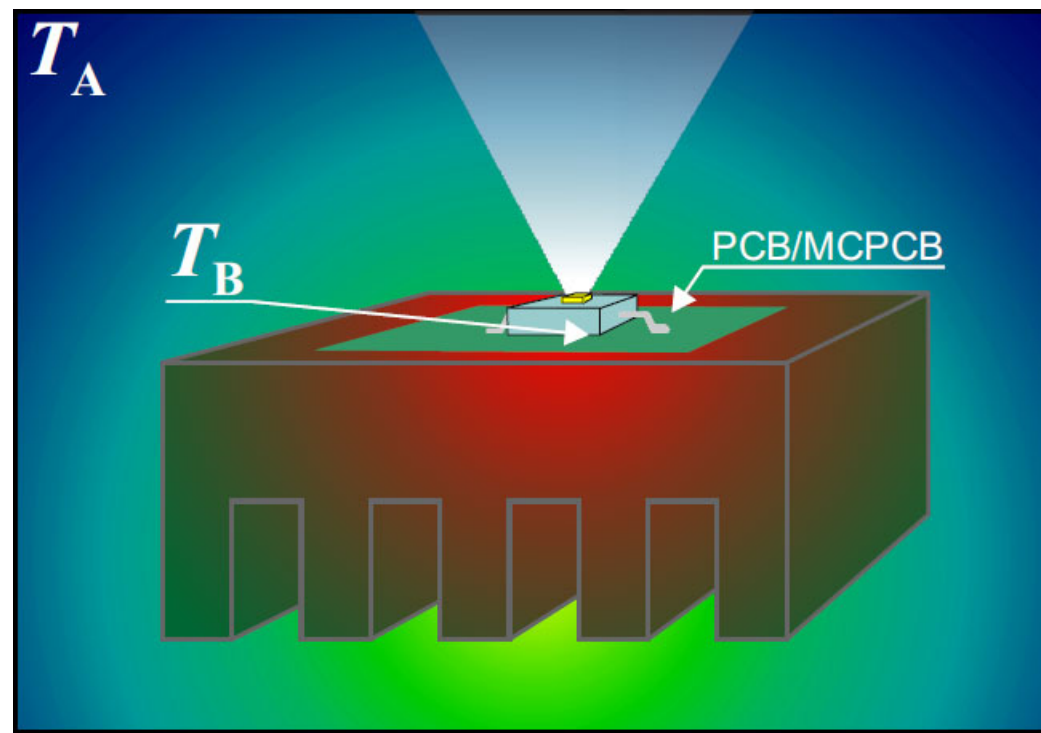
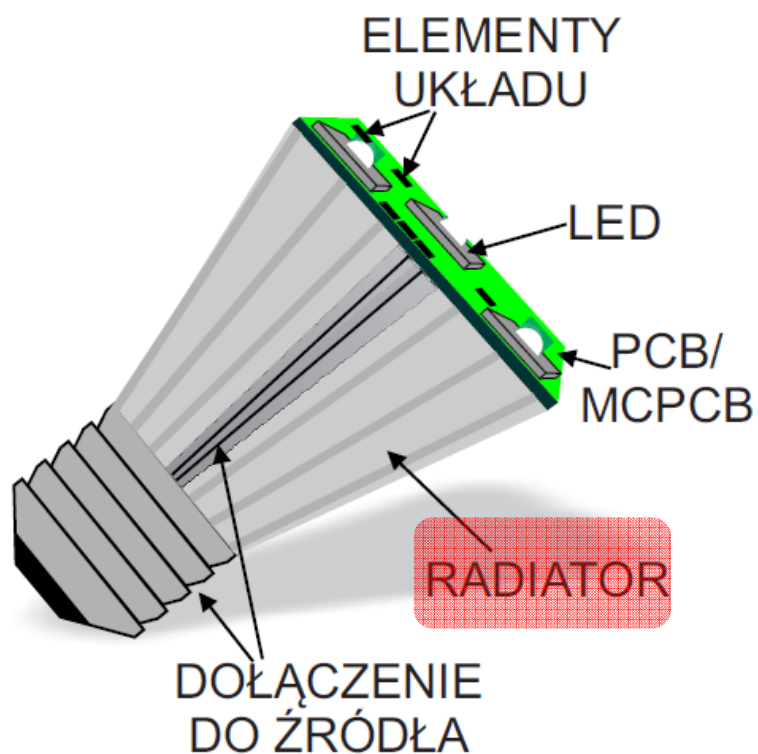
TEMPERATURA DIOD ŚWIETLNYCH LED



WŁASNOŚCI APLIKACYJNE DIOD LED

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

BUDOWA LAMPY LED



TEMPERATURA DIOD ŚWIETLNYCH LED



T_j – JUNCTION TEMPERATURE - POMIAR

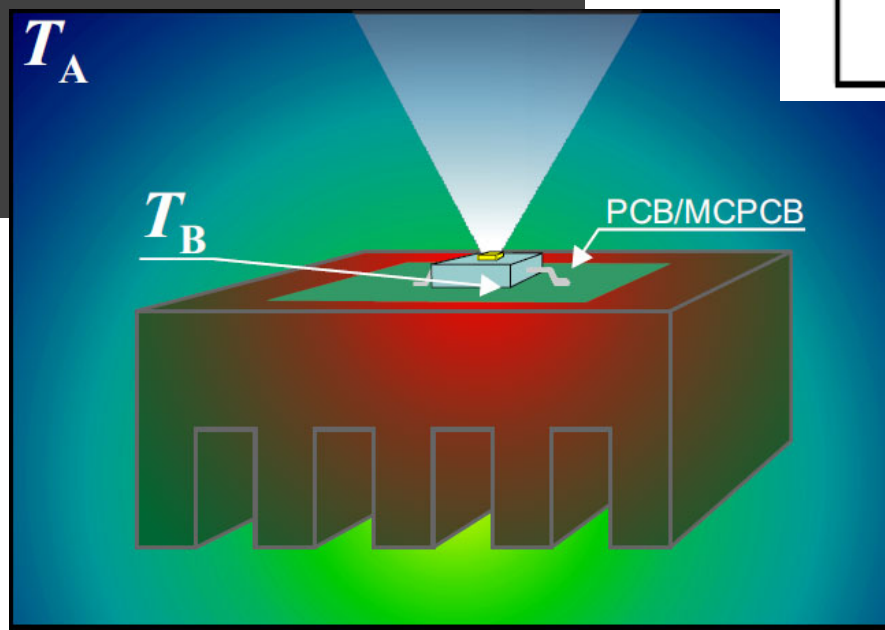
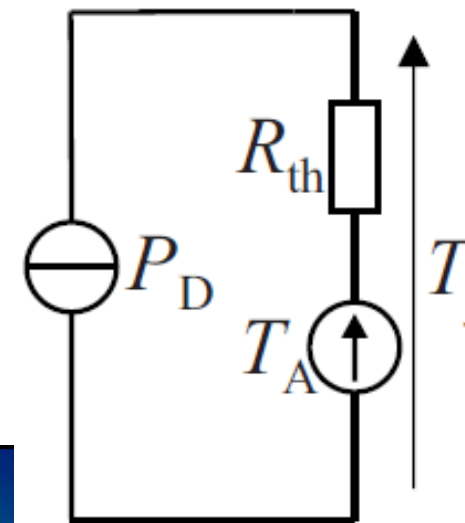
Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

Rezystancja termiczna zależy od struktury wewnętrznej diody, jak i od elementów zewnętrznych, przez które dioda odprowadza ciepło do otoczenia:

$$R_{th JA} = R_{th JB} + R_{th BA}$$

$R_{th JB}$ – Junction to Board,

$R_{th BA}$ – Board to Ambient



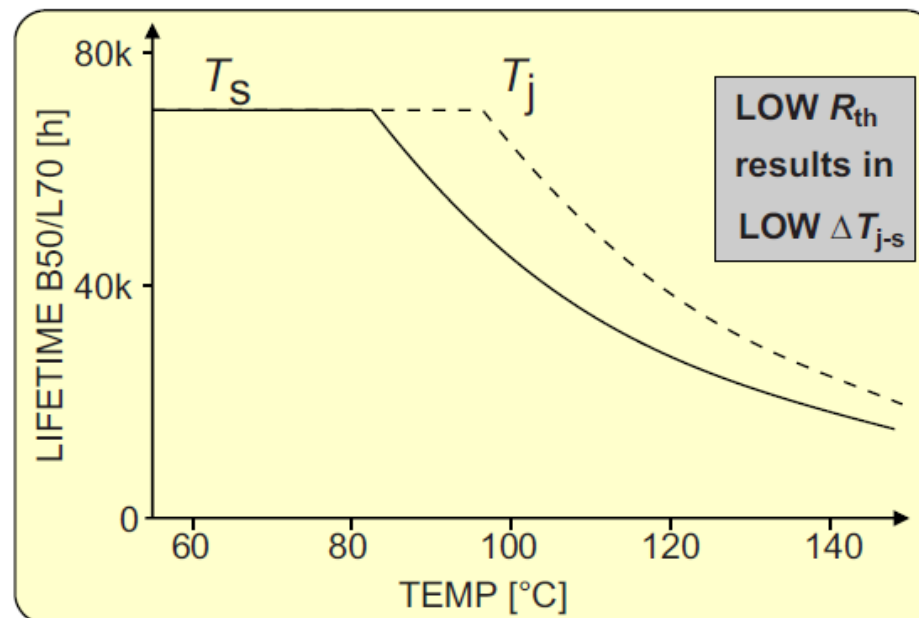
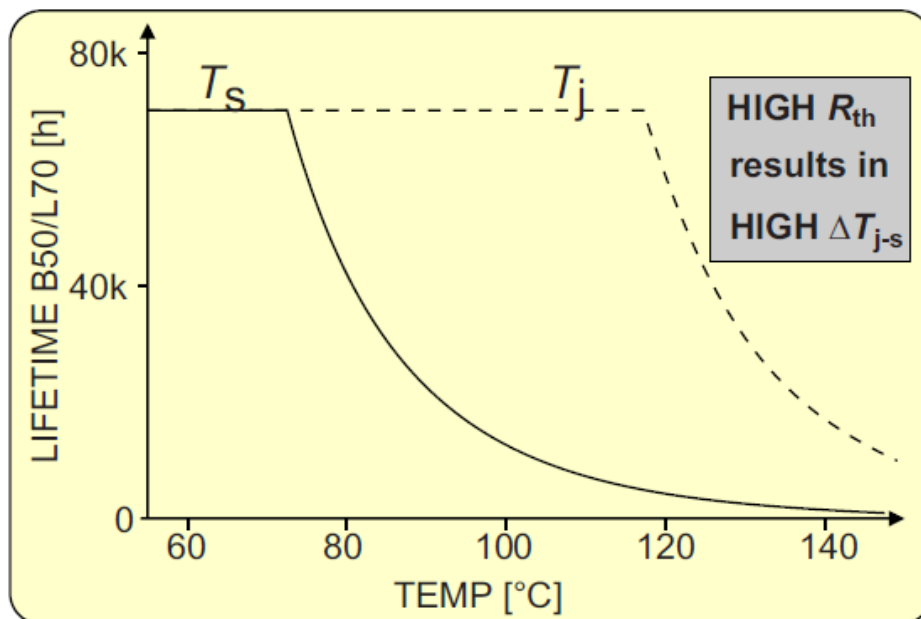
Źródło: A. Stich, N. Breidenassel, R. Huber: „Thermal Management of OSTAR® Projection Light Source. Application Note”, Osram Opto Semiconductors, January, 2006.
Rysunek (wykonany przez autora).

TEMPERATURA DIOD ŚWIETLNYCH LED



T_j – JUNCTION TEMPERATURE – POMIAR I WPŁYW R_{th}

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.



TRWAŁOŚĆ DIOD ŚWIETLNYCH LED



CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA TRWAŁOŚĆ DIODY ŚWIETLNEJ LED

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.



PRĄD I
NAPIĘCIE

TEMPERATURA

SIŁY
MECHANICZNE

ZANIECZYSZCZENIA
CHEMICZNE

WILGOTNOŚĆ

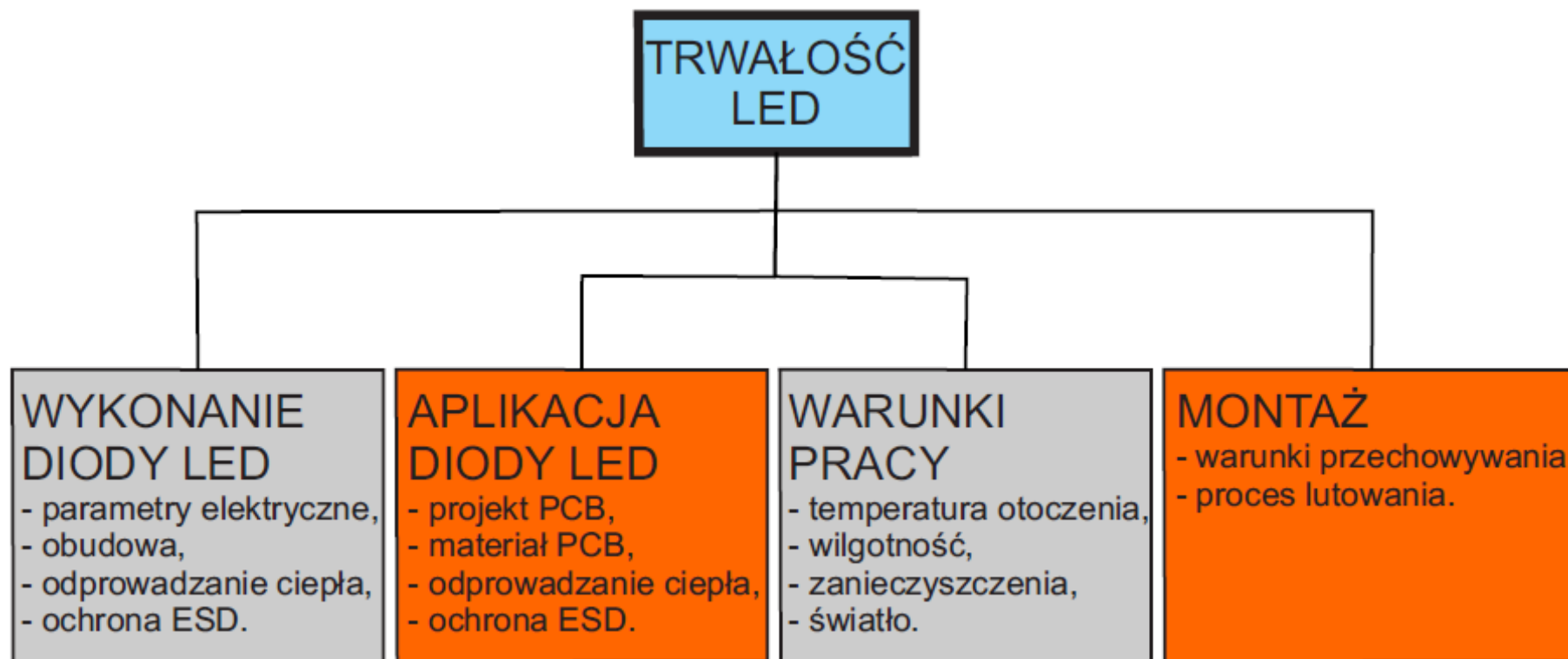
ŚWIATŁO

TRWAŁOŚĆ DIOD ŚWIETLNYCH LED

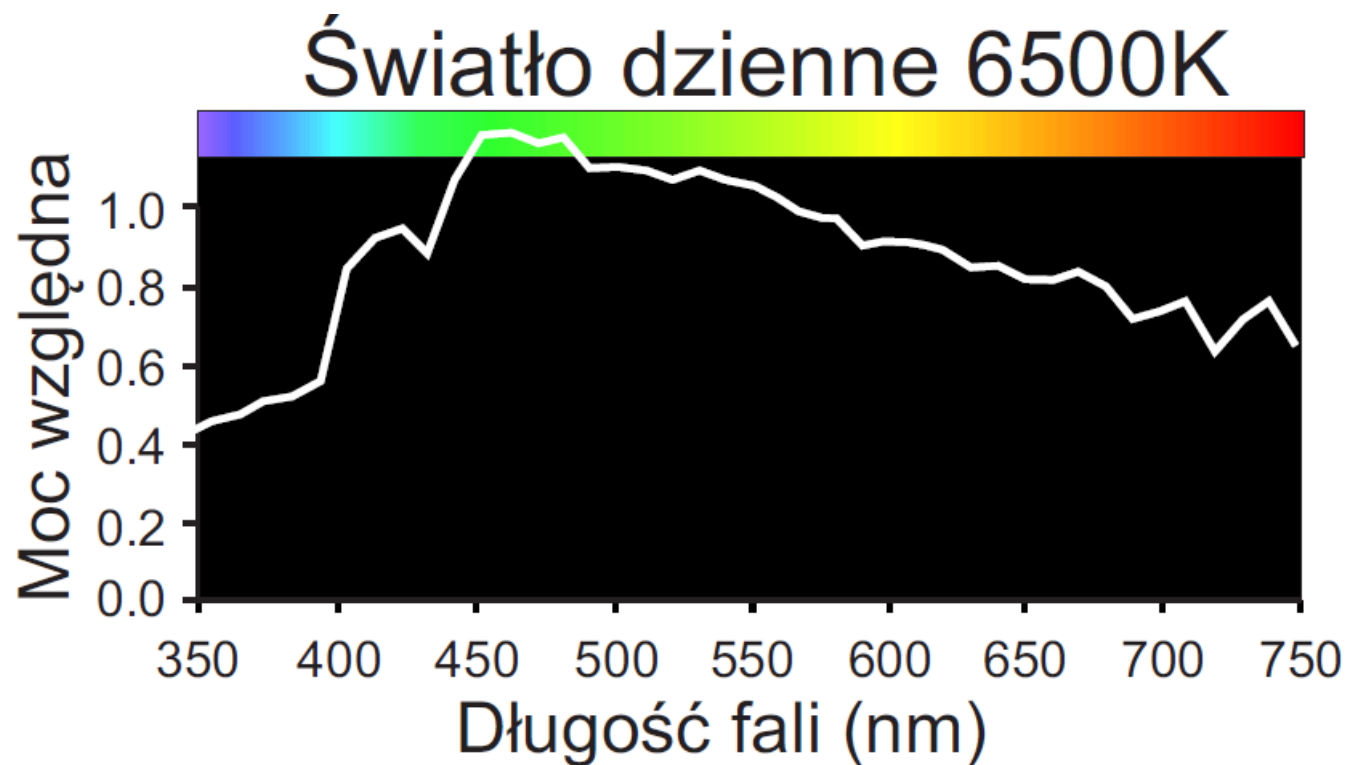


CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA TRWAŁOŚĆ DIODY ŚWIETLNEJ LED

Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.



SPEKTRUM ŚWIATŁA SŁONECZNEGO



Źródło:

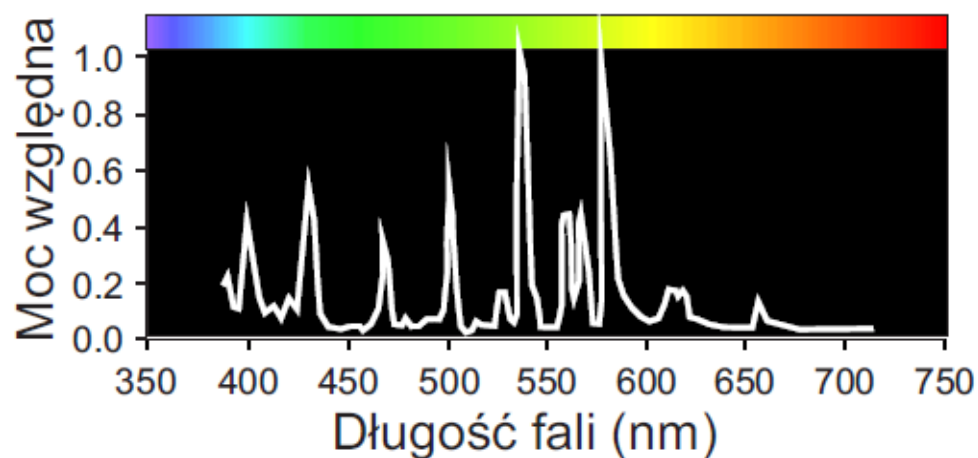
M. S. Rea, „The IESNA Lighting Handbook. Reference & Application” Illuminating Engineering Society of North America IESNA, 2000

WIDMO PROMIENIOWANIA LAMP

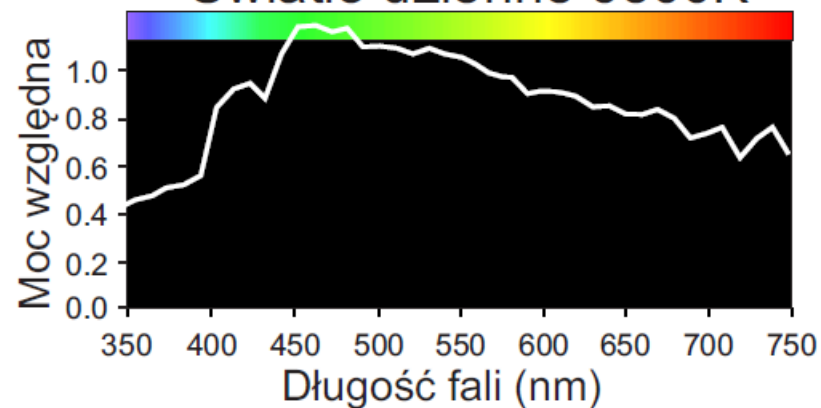
Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

PRZYKŁADY

Lampa metahalogenkowa



Światło dzienne 6500K



Źródła:

M. S. Rea, „The IESNA Lighting Handbook. Reference & Application” Illuminating Engineering Society of North America IESNA, 2000

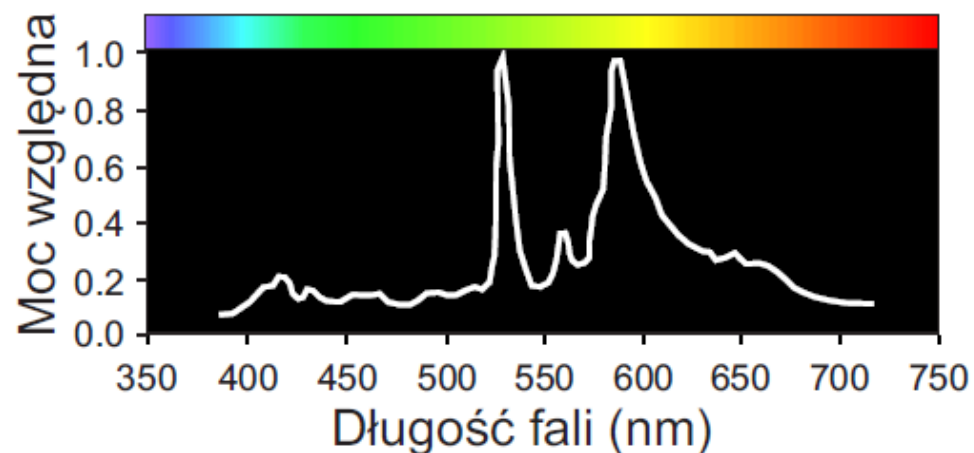
P. R. Boyce: „Lighting for Driving. Roads, Vehicles, and Signals”, CRC Press 2009.

WIDMO PROMIENIOWANIA LAMP

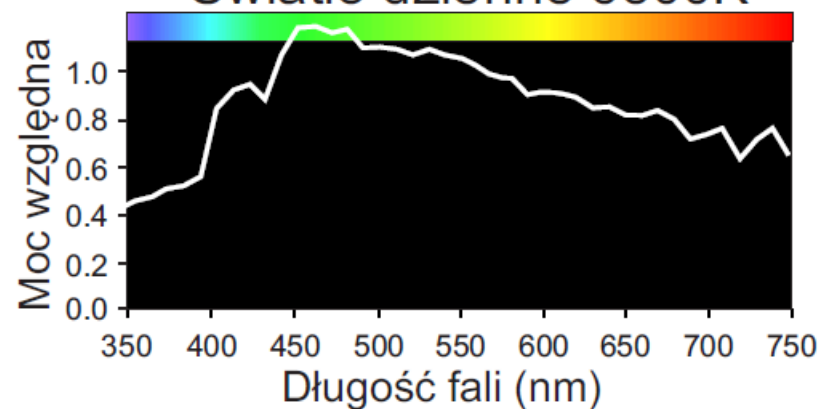
Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

PRZYKŁADY

Lampa metahalogenkowa



Światło dzienne 6500K



Źródła:

M. S. Rea, „The IESNA Lighting Handbook. Reference & Application” Illuminating Engineering Society of North America IESNA, 2000

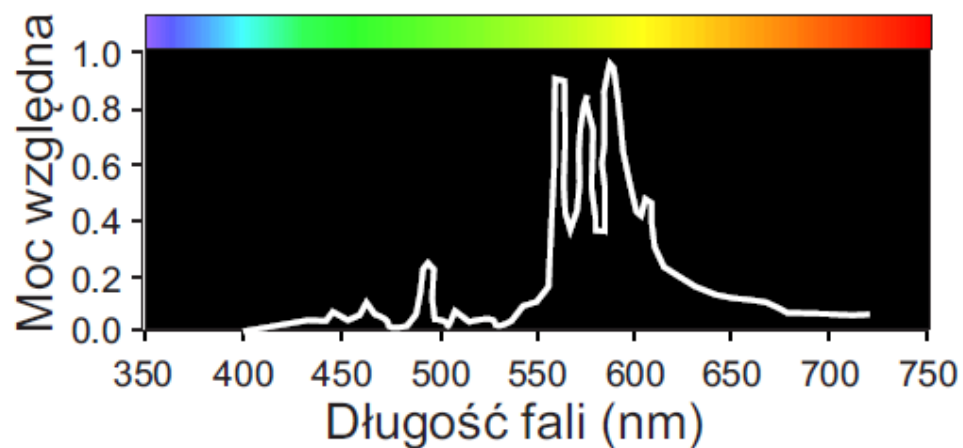
P. R. Boyce: „Lighting for Driving. Roads, Vehicles, and Signals”, CRC Press 2009.

WIDMO PROMIENIOWANIA LAMP

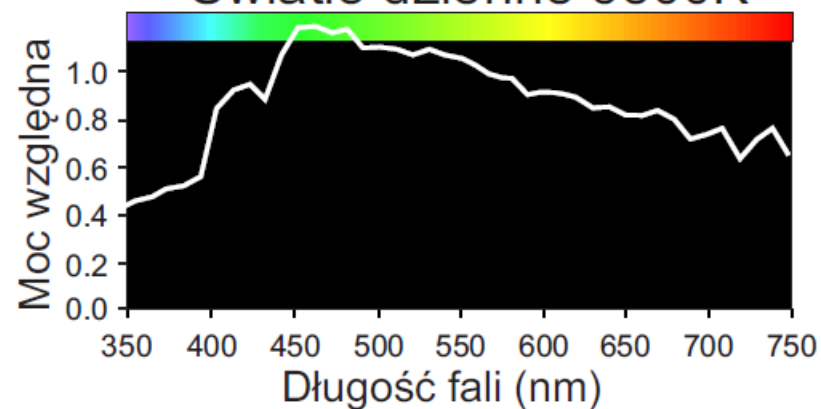
Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

PRZYKŁADY

Lampa sodowa wysokoprężna



Światło dzienne 6500K



Źródła:

M. S. Rea, „The IESNA Lighting Handbook. Reference & Application” Illuminating Engineering Society of North America IESNA , 2000

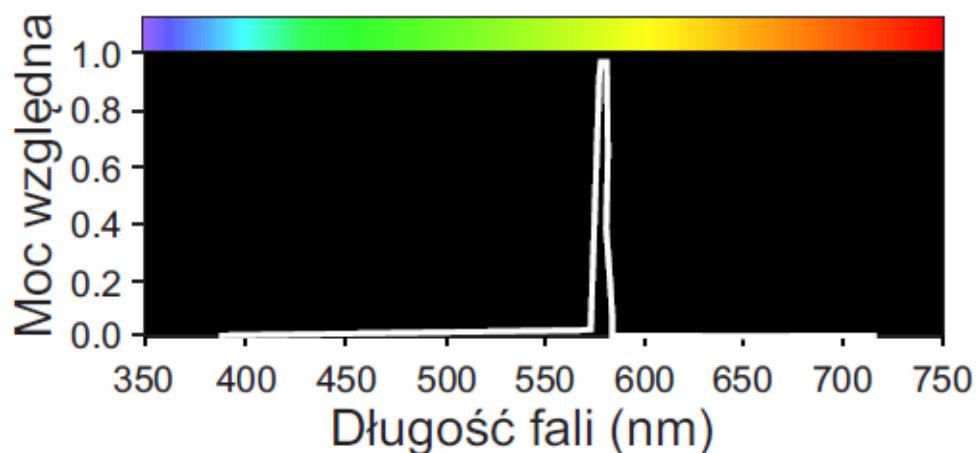
P. R. Boyce: „Lighting for Driving. Roads , Vehicles, and Signals”, CRC Press 2009.

WIDMO PROMIENIOWANIA LAMP

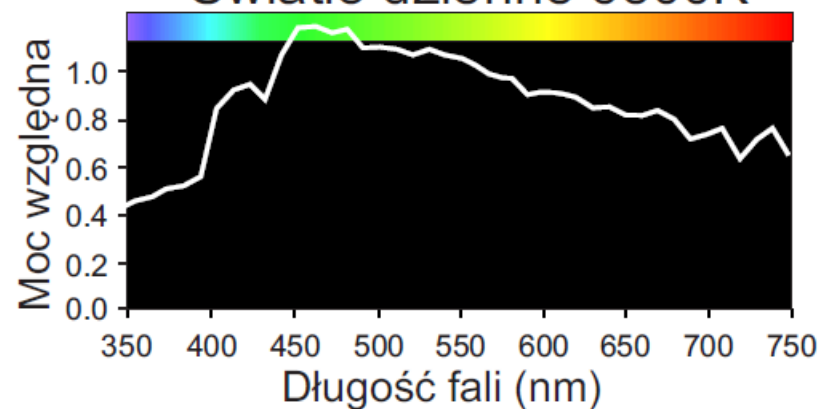
Robert Stala, AGH, KANiUP, stala@agh.edu.pl: Materiały dydaktyczne studiów podyplomowych „EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ”.

PRZYKŁADY

Lampa sodowa nieskopreżna



Światło dzienne 6500K



Ilustracje wykonano na podstawie materiałów źródłowych prezentowanych w:

M. S. Rea, „The IESNA Lighting Handbook. Reference & Application” Illuminating Engineering Society of North America IESNA, 2000

P. R. Boyce: „Lighting for Driving. Roads, Vehicles, and Signals”, CRC Press 2009.