

Kacper HOŁDA<sup>1</sup>, Karol JABŁOŃSKI<sup>2</sup>

Opiekun naukowy: Tomasz GRYCHOWSKI<sup>3</sup>

## **PORÓWNANIE I OCENA PARAMETRÓW MODUŁÓW ZASILACZY DOŚWIADCZALNYCH**

**Streszczenie:** Zasilacze są powszechnie wykorzystywane do uruchamiania oraz testowania większości rodzajów układów elektronicznych. Często występują one jako jedna z wielu składowych urządzeń pomiarowych oraz sprzętu laboratoryjnego. W ramach pracy przeprowadzono testy pozwalają stwierdzić jakie rozwiązania są optymalne pod względem użytych kluczowych elementów oraz zaprojektowania całego układu.

**Słowa kluczowe:** zasilacz, napięcie, moduł zasilający, pomiary elektryczne

## **COMPARISON AND EVALUATION OF PARAMETERS OF EXPERIMENTAL POWER SUPPLY MODULES**

**Summary:** Power supplies are commonly used to run and test most types of electronic circuits. They often appear as one of many component measuring devices and laboratory equipment. As part of the work, tests were carried out to determine which solutions are optimal in terms of key elements used and the design of the entire system.

**Keywords:** power supply, voltage, module, electrical measurement

### **1. Wprowadzenie**

Poprawne działanie każdego urządzenia elektrycznego zależy od zastosowania odpowiedniego źródła zasilania – jest to jeden z najistotniejszych komponentów. Biorąc pod uwagę wciąż rosnące zapotrzebowanie na zasilacze, które będą

---

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, email: kacphol520@student.polsl.pl

<sup>2</sup> mgr inż., Politechnika Śląska, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, email: Karol.Jablonski@polsl.pl

<sup>3</sup> dr inż., Politechnika Śląska, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, email: Tomasz.Grychowski@polsl.pl

wykazywały jak najmniejsze straty przy współpracy z transformatorem, jak największą odporność na zakłócenia, oraz jak najniższe zakłócenia generowane, podjęto decyzję o przeprowadzeniu odpowiednich badań. Dobór zasilacza jest bardzo istotną procedurą, gdyż poza podstawowymi parametrami elektrycznymi należy zwrócić uwagę m.in. na jego niezawodność, jakość generowanego napięcia czy generację zakłóceń elektromagnetycznych, mogących powodować niepoprawne działanie innych urządzeń w jego otoczeniu.

Celem pracy jest określenie możliwości badanych zasilaczy. Do badań wyselekcjonowano dostępne na rynku moduły zasilające przeznaczone do budowy prototypów urządzeń elektronicznych niewielkiej mocy. Badane układy oparte są o popularne na rynku stabilizatory oraz elementy pasywne.

## **2. Badane układy**

### **2.1. Podstawowe podzespoły**

Do powszechnie stosowanych rodzajów elementów elektronicznych wchodzących w skład zasilaczy należą rezystory. Ich wymiary zewnętrzne są proporcjonalne do wartości natężenia oraz napięcia prądu, który może przez nie przepływać. Ich głównym celem jest ograniczanie natężenia prądu w obwodzie.

Kolejnym powszechnie stosowanym elementem jest kondensator. W badanych układach występują trzy typy kondensatorów: kondensatory elektrolityczne – spolaryzowane, zbudowane z okładek z ciekłym elektrolitem oraz aluminiową elektrodą dodatnią; kondensatory ceramiczne – niespolaryzowane, o małych pojemnościach, wykonane z jednej lub większej ilości płytek sporządzonych ze specjalnego rodzaju materiału ceramicznego oraz napyłonymi na owe płytki metalicznymi elektrodami, połączonymi z wyjściami kondensatora. Trzecim zaimplementowanym typem są, także niespolaryzowane, kondensatory foliowe, składające się z folii wytworzonej z tworzywa sztucznego – w tym wypadku polipropylenu. Wszystkie wyżej wymienione kondensatory pozwalają podtrzymywać wartości chwilowe napięcia w czasie pomiędzy kolejnymi impulsami napięcia oraz filtrować zakłócenia.

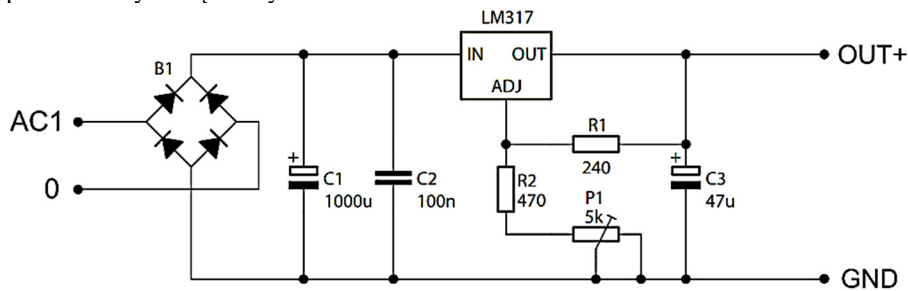
Następnym podzespołem, stosowanym w tego typu układach, jest dioda prostownicza, której najważniejszą cechą jest zdolność niesymetrycznego przewodzenia prądu przemiennego o nawet bardzo wysokim natężeniu, dlatego też przeznaczana jest, w większości przypadków, do jego prostowania. Jako elementy mostka prostowniczego, zwanego też mostkiem Graetza, wykorzystuje się cztery takie diody, połączone zgodnie ze schematem ideowym wymuszającym pracę dwóch diod z polaryzacją w kierunku przewodzenia, natomiast dwóch pozostałych z pracą w kierunku zaporowym. Zastosowane przy budowie badanych struktur mostki prostownicze zostały zaimplementowane w postaci scalonej – zdecydowano się na takie rozwiązanie ze względu na stosunkowo niskie napięcia wejściowe.

Wszystkie badane układy oparte są na stabilizatorach scalonych, których konstrukcja opiera się na źródle prądowym, wzmacniaczu operacyjnym oraz układzie Darlingtona.

## 2.2. Konstrukcje układów

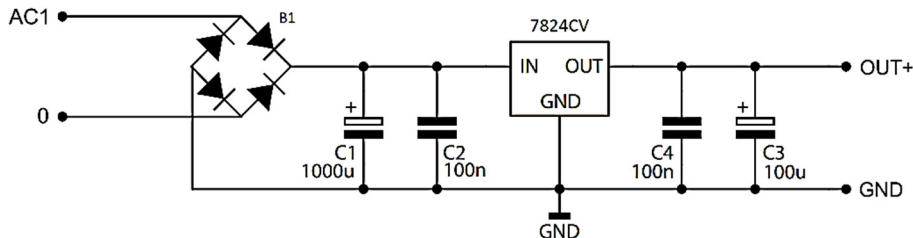
Pierwszym z badanych zasilaczy (zasilacz A) jest układ zbudowany na bazie stabilizatora LM317, który daje możliwość zewnętrznej regulacji napięcia wyjściowego. Jest to powszechnie stosowany scalony stabilizator napięcia. Rysunek 1 przedstawia schemat elektryczny badanego zasilacza. Na wejściu modułu dostarczane jest napięcie z transformatora sieciowego, które następnie przechodzi przez mostek Graetza realizujący prostowanie dwupołówkowe, który dodatkowo uniemożliwia podłączenie napięcia stałego o niewłaściwej polaryzacji.

Poprzez zastosowanie kondensatora elektrolitycznego na wejściu układu, zaraz za mostkiem prostowniczym, jest możliwa filtracja napięcia – zmniejsza się tym samym nierówności sieciowe, których niwelacja na wyjściu układu jest jego kluczowym zadaniem. Również pozostałe kondensatory foliowe oraz elektrolityczne widniejące na schemacie, dzięki którym napięcie jest dodatkowo filtrowane, biorą udział w tym procesie. Następnie użyty jest klasyczny dzielnik napięcia powodujący ustalenie się właściwego napięcia na wyjściu - dodatkowo zaimplementowany jest rezystor nastawny który umożliwia uzyskanie dowolnego napięcia z przedziału teoretycznego od 1.25 V do 25 V. Stanowi to o dłużej uniwersalności tego układu. Wydajność prądowa jest bardzo uzależniona od wielkości zaimplementowanego radiatora – w badanym zasilaczu zastosowano radiator pozwalający uzyskać wydajność prądową na poziomie nieprzekraczającym 1.5 A. Układ posiada także zabezpieczenie temperaturowe, które działa w oparciu o implementację wewnętrznych obwodów zabezpieczających ograniczając prąd poprzez obniżenie napięcia na wyjściu, jeśli temperatura układu wzrośnie powyżej 150 °C. Wymiary płytki są niewielkie, ponieważ wynoszą one tylko 50 mm×30 mm.



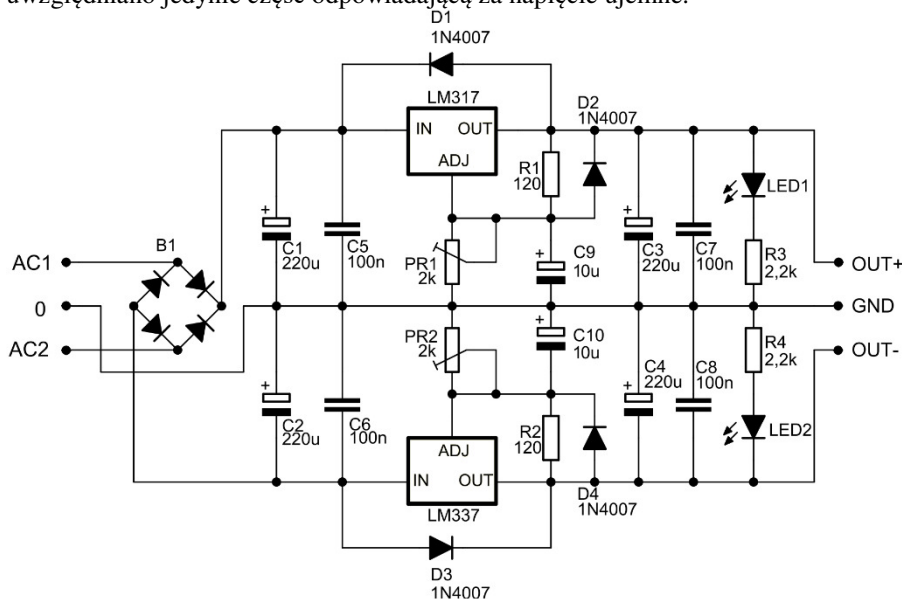
Rysunek 1. Zasilacz A ze stabilizatorem LM317 – regulowane napięcie wyjściowe.

Drugi moduł (zasilacz B) został oparty na stabilizatorze 7824CV. Jego zasada działania nie odbiega od wcześniej opisywanego zasilacza, do jego budowy zastosowano natomiast mniej elementów, co przekłada się na mniejsze koszty. Tak samo jak w poprzednim przypadku poszczególne elementy zostały dobrane tak, aby napięcie wyjściowe miało wartość 24 V, a prąd wyjściowy mieścił się w granicy 1.5 A – ze względu na zastosowaną wielkość radiatora. Płytkę zasilacza przedstawionego na rysunku 2 posiada takie same wymiary jak w przypadku pierwszego opisywanego układu, czyli 50 mm×30 mm.



Rysunek 2. Zasilacz B ze stabilizatorem 7824CV – bez regulacji.

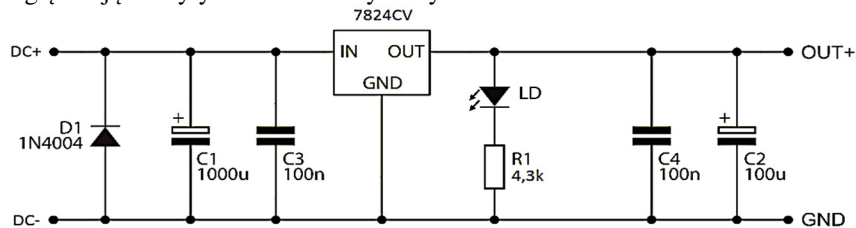
Najbardziej uniwersalnym badanym układem jest zasilacz napięcia symetrycznego (zasilacz C), przedstawiony na rysunku 3, który daje możliwość realizacji podwójnego i jednocześnie symetrycznego źródła napięcia zasilania. Budowany jest on na podstawie dwóch układów regulacyjnych: LM317, który realizuje regulację napięcia dodatniego, oraz LM337, który realizuje regulację napięcia ujemnego. Moduł posiada mostek prostowniczy oraz kondensatory podtrzymujące i filtrujące. Oba stabilizatory posiadają zabezpieczenie termiczne. Poprzez symetryczne zastosowanie rezystorów nastawnych można regulować napięcie wyjściowe w zakresie od 1.2 V do 24 V. Tak jak w przypadku pozostałych zasilaczy, wymiary płytki są stosunkowo małe i wynoszą 33 mm×62 mm. W opisanych badaniach uwzględniano jedynie część odpowiadającą za napięcie ujemne.



Rysunek 3. Zasilacz symetryczny C – regulowane napięcie wyjściowe.

Rysunek 4 przedstawia schemat ideowy zasilacza z tylko jedną diodą prostowniczą która zapobiega uszkodzeniu układu przy podpięciu odwrotnej polaryzacji napięcia wejściowego (zasilacz D). Brak mostka prostowniczego uniemożliwia zasilanie układu napięciem zmiennym, musi być ono wyprostowane przed podłączeniem. Dobry radiator, jak w przypadku poprzednich układów, jest wyznacznikiem

wielkości maksymalnego obciążenia prądowego, które w tym przypadku może mieć wartość do 700 mA – jednak teoretycznie, biorąc pod uwagę parametry zastosowanych elementów, w szczególności kondensatora C1, jest możliwość obciążenia układu prądem 1 A. Dodatkowo zaimplementowana jest dioda LED informująca o działaniu zasilacza. Produkowana na skalę masową płytką drukowaną uwzględniająca użycie radiatora ma wymiary 31 mm×89 mm.



Rysunek 4. Zasilacz D ze stabilizatorem 7824CV – bez mostka prostowniczego.

### 3. Metodyka badań

W celu oceny jakości zasilaczy podjęto decyzję o zbadaniu następujących parametrów ich pracy:

- Szumy: wysokoczęstotliwościowe wahania napięcia wyjściowego.
- Tętnienia: rodzaj szumów w postaci zakłócenia okresowego, zazwyczaj wywoływane sinusoidalnym charakterem napięcia zasilania.
- Dynamika odpowiedzi: czas pomiędzy podłączeniem napięcia na wejście zasilacza, z osiągnięciem przez niego nominalnych parametrów prądu wyjściowego.
- Czas podtrzymania: czas, przez który na wyjściu zasilacza pozostaje napięcie pomimo odłączenia napięcia wejściowego.
- Sprawność: stosunek mocy wyjściowej zasilacza do jego mocy wejściowej.
- Dryft czasowy: zmiany parametrów prądu wyjściowego w funkcji czasu pracy zasilacza.

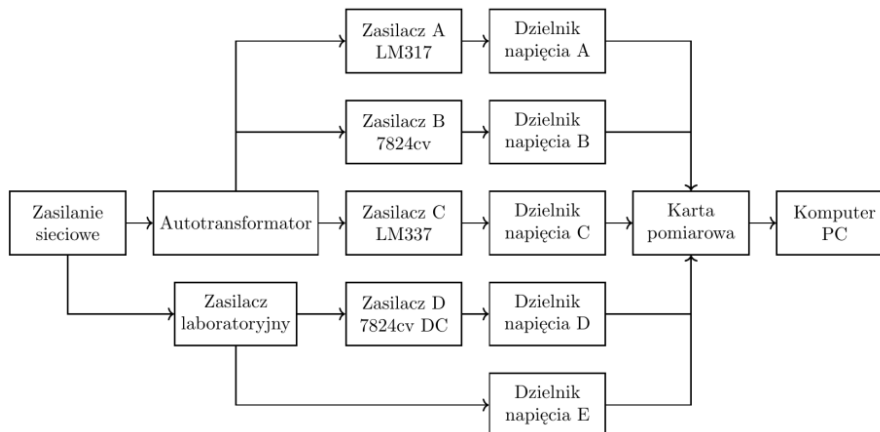
#### 3.1 Zakłócenia – szumy i tętnienia

Do zbadania zakłóceń na wyjściu zasilaczy wykorzystano kartę pomiarową firmy National Instruments DAQ-USB 6112 o rozdzielczości przetworników analogowo-cyfrowych 16-bitów. Dokładność pomiaru wynosi  $2\ 690\ \mu\text{V}$  przy zakresie 10 V, a maksymalna częstotliwość próbkowania 250 kHz. Wyjścia zasilaczy podłączono do kolejnych wejść analogowych karty. Ze względu na jej zakres pomiarowy zastosowano dzielniki rezystancyjne z opornikami o wartościach 100 k $\Omega$  oraz 47 k $\Omega$ , co umożliwiło obniżenie napięcia o 68%, czyli z 24 V na 7,7 V, dzięki czemu zakres karty został optymalnie wykorzystany. Wartości rezystorów są na tyle duże, że płynący przez nie prąd można uznać za pomijalny.

Dla zasilaczy obciążonych rezystancją 100  $\Omega$  oraz nieobciążonych zarejestrowano 2-sekundowe sekwencje sygnału wyjściowego z częstotliwością 100 kHz. Wykorzystano je do pomiaru amplitudy szumów, a także do uzyskania gęstości

widmowej mocy, która była estymowana metodą Welcha przy użyciu środowiska Matlab.

Moduły posiadające na wejściu układ prostujący zostały przebadane dwukrotnie – pierwszy raz zasilone z autotransformatora napięciem zmiennym 24 V, a po raz drugi z zasilacza laboratoryjnego napięciem stałym 24 V. Moduł bez mostka prostowniczego badano jedynie przy zasilaniu prądem stałym. Pomiarom podlegał też sam zasilacz laboratoryjny. Podstawowy układ badawczy przedstawia rysunek 5.



Rysunek 5. Schemat blokowy połączeń badanych układów.

### 3.2. Dynamika układu oraz czas podtrzymania

Aby zbadać dynamikę odpowiedzi zasilaczy również wykorzystano kartę pomiarową. Wykonano jednak jedynie testy rozruchu przy zasilaniu układów prądem stałym o napięciu 24 V, gdyż prąd rozruchowy posiadanego autotransformatora w badanych obwodach okazał się zbyt wysoki dla wykorzystanych przewodów.

Po uruchomieniu zasilania w układzie napięcia wyjściowe zasilaczy były rejestrowane z częstotliwością 100 kHz. Następnie zmierzono czasy od uruchomienia do uzyskania stanu ustalonego. Badanie wykonano dla układów bez obciążenia, oraz z obciążeniem 100 Ω w postaci rezystora dużej mocy.

W tym samym układzie dokonano pomiaru czasu podtrzymania wyłączając napięcie zasilania.

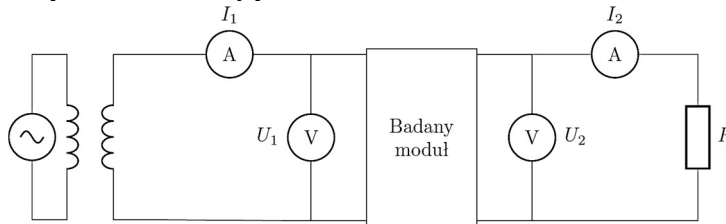
### 3.3. Dryft czasowy

Badanie dryftu czasowego polegało na notowaniu napięcia wyjściowego zasilaczy w trakcie 5-godzinnej pracy. Moduły zostały zasilone napięciem zmiennym o wartości 35 V i obciążone rezystorami dużej mocy o wartości 200 Ω. Z badania wykluczono zasilany napięciem stałym układ 7824CV oraz zasilacz symetryczny, który osiągał podczas testu zbyt wysokie temperatury.

### 3.4. Sprawność

W celu zmierzenia sprawności dokonano pomiaru mocy na wejściach i wyjściach zasilaczy. Moc wejściową, pobieraną ze źródła AC o napięciu 35 V zmierzono przy

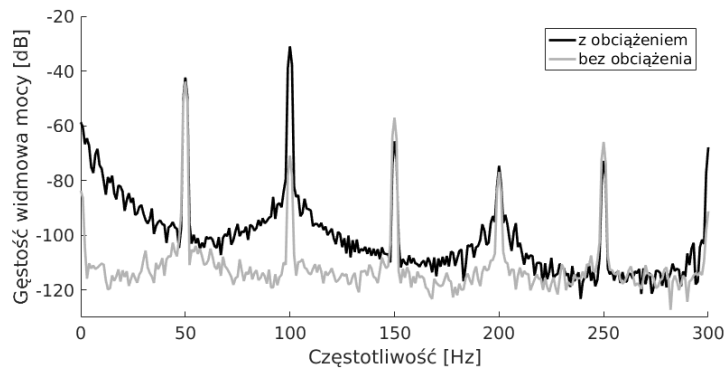
użyciu amperomierza i woltomierza w trybie pomiaru AC, wyjściową analogicznie w trybie DC (rysunek 6). Do wyjść podłączono rezystory dużej mocy o rezystancji 100 Ω, tak, aby uzyskać całkowite obciążenia 50 Ω, 100 Ω oraz 200 Ω dla układów 7824CV i LM317 oraz 200 Ω i 400 Ω dla LM337, który nie został wyposażony w dodatkowy radiator chłodzący stabilizator.



Rysunek 6. Schemat połączeń przy badaniu sprawności.

#### 4. Wyniki

Wszystkie zasilane prądem zmiennym moduły wykazywały bardzo zbliżony charakter tętnień i szumów, zdecydowano więc o przedstawieniu widma mocy sygnału jedynie dla jednego modelu (zasilacz A) na rysunku 7, natomiast tabela 1 przedstawia zmierzone amplitudy szumów wszystkich badanych zasilaczy.

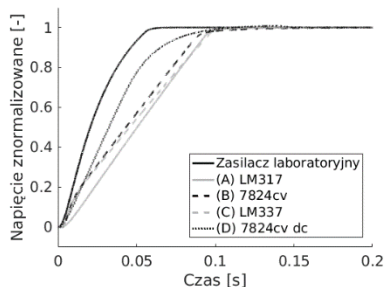


Rysunek 7. Zakłócenia na wyjściu LM317 (zasilacz A).

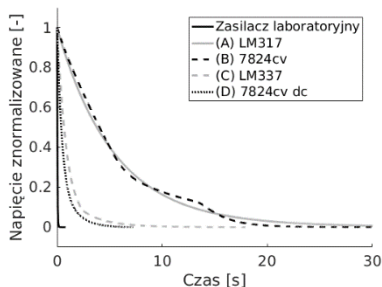
Tabela 1. Amplitudy szumów.

Nazwa	bez obciążenia; zasilanie AC [V]	z obciążeniem; zasilanie AC [V]	bez obciążenia; zasilanie DC [V]	z obciążeniem; zasilanie DC [V]
Zasilacz laboratoryjny	0.00164	0.00148	-	-
LM317 (A)	0.0143	0.0612	0.00131	0.00197
7824cv (B)	0.0138	0.0613	0.00148	0.00148
LM337 (C)	0.0131	0.0598	0.00131	0.00230
7824cv DC (D)	-	-	0.00131	0.00164

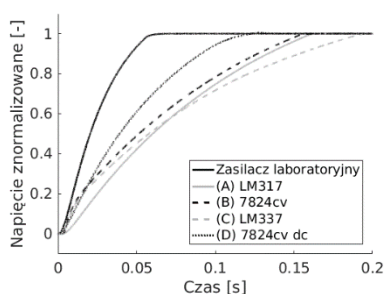
Rysunki 8–11 prezentują własności dynamiczne zasilaczy. Warto zwrócić uwagę na fakt, iż nieobciążone urządzenia podtrzymują napięcie zasilania kilkadziesiąt razy dłużej niż obciążone.



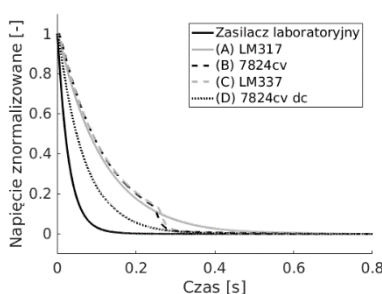
Rysunek 8. Rozruch bez obciążenia.



Rysunek 9. Rozładowywanie bez obciążenia.

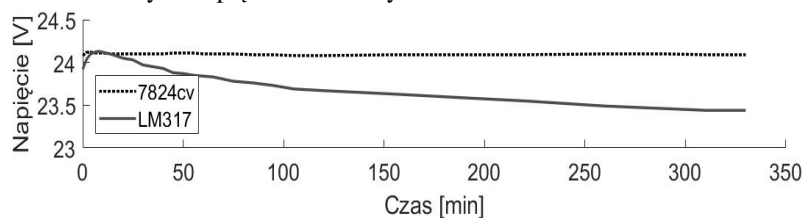


Rysunek 10. Rozruch z obciążeniem.



Rysunek 11. Rozładowywanie z obciążeniem.

Na rysunku 12 przedstawiono zmiany napięcia wyjściowego dwóch modułów w trakcie kilkugodzinnej pracy, natomiast tabela 2 zawiera zmierzone sprawności modułów zasilanych napięciem zmiennym.



Rysunek 12. Dryft czasowy.

Tabela 2. Wyniki badania sprawności.

Układ	Rezystancja obciążenia [ $\Omega$ ]	Uzyskana sprawność [%]
LM317 (A)	200	49.9
	100	43.9
	50	40.6
7824cv (B)	200	50.1
	100	45.2
	50	41.8
LM337 (C)	400	21.8
	200	23.2



## 5. Podsumowanie

W niniejszej pracy przedstawiono badania wybranych, popularnych układów zasilających charakteryzujących się prostą budową oraz niskim kosztem produkcji. Zasilacze zbudowane na bazie popularnych stabilizatorów zostały poddane serii testów, mających na celu wskazanie różnic między nimi, predysponujących je do konkretnych zastosowań.

Zasilacz A, oparty na LM317, można uznać za relatywnie najgorszy spośród testowanych. Wykazywał najwyższy poziom szumów i nienajlepszą dynamikę, problemem w wielu zastosowaniach może być także niestabilność napięcia wyjściowego w pierwszych godzinach po uruchomieniu.

W testach lepszym rozwiązaniem okazał się zasilacz B ze stabilizatorem z rodziny 78xx, zbliżony co do amplitudy szumów, nieznacznie lepszy w kwestii sprawności i dynamiki, dużo stabilniejszy. W układach, w których nie jest konieczna regulacja napięcia, jest on dużo lepszym rozwiązaniem.

W zasilaczu C, będącym układem symetrycznym, przetestowano jedynie jedno z wyjść. Jego sprawność w związku z tym nie może być zestawiona z pozostałymi. Nie brał również udziału w teście dłuższej pracy, ze względu na brak radiatora. Pod względem szumów i dynamiki układ ten był jednak bardzo dobry, co jest zbieżne z faktem, że w literaturze polecany jest do zastosowań audio.

Testy zasilacza D miały głównie charakter porównawczy dla konstrukcji B, z którą dzielił typ stabilizatora. Ze względu na przeznaczenie do napięcia stałego nie jest on jednak równorzędny z pozostałymi obiektami testów. Ilustruje natomiast, że układ zaprojektowany do pracy przy prądzie stałym charakteryzuje się lepszą dynamiką.

Co istotne, zakłócenia na wszystkich badanych modułach podczas pracy przy zasilaniu prądem zmiennym miały przeważająco postać tętnień o częstotliwości 50 Hz oraz wyższych harmonicznych. Charakter zakłóceń zależał również mocno od obecności obciążenia. Obecność rezystora 100  $\Omega$  w obwodzie znacznie zwiększała amplitudę harmoniczną 100 Hz, wynikającej z dwupołkowego prostowania napięcia o częstotliwości 50 Hz. Powoduje on też dodatkowe szумы o niższej częstotliwości. Poza bezpośrednim wpływem obciążenia na układ, powodem pogorszenia jakości sygnału jest również zwiększenie długości przewodów i ilości połączeń w badanym obwodzie, co widać na rysunku 11 przedstawiającym widmo zakłóceń na wyjściu zasilacza A. Dla pozostałych układów widma były bardzo zbliżone.

Testowane zasilacze wykazały sprawność w granicach 50%. Tak niska wartość spowodowana była wysokim napięciem zasilania wykorzystanym podczas badania. Układy nadmiar dostarczonej energii rozpraszały w postaci ciepła na radiatorach, lub, jak w przypadku zasilacza C bez radiatora, uruchamiało się zabezpieczenie termiczne. Wykonane badania mają charakter poglądowy i należy je traktować porównawczo w obrębie wykorzystanych modułów, natomiast nie dają one obrazu funkcjonowania zastosowanych rozwiązań na tle innych, zbadanych w innych laboratoriach, ponieważ w trakcie testów nie zostały zapewnione warunki odniesienia pod względem zakłóceń z sieci energetycznej.

Podczas jednego z badań zarejestrowano okresowe pojawianie się dodatkowych zakłóceń. Okazało się, że jego źródłem były urządzenia pracujące w lokalu gastronomicznym w obrębie tego samego budynku, co laboratorium, przez co seria badań musiała być powtórzona poza godzinami pracy lokalu.

Dostępne wyposażenie laboratoryjne oraz posiadanie pojedynczych egzemplarzy modułów zasilających nie pozwoliły na przeprowadzenie kompleksowych badań. Dobrym uzupełnieniem uzyskanych wyników byłyby porównania większej ilości zasilaczy tego samego typu, zbadanie napięcia wyjściowego w zależności od panujących warunków (np. temperatura otoczenia), a wreszcie badanie kompatybilności elektromagnetycznej układów. Rezultaty wykonanych badań pozwoliły jednak poznać podstawowe wady i zalety przedstawionych modułów zasilających, co może ułatwić decyzje przy poszukiwaniu źródeł zasilania dla układów prototypowych.

Badania były finansowane w ramach projektu 02/010/BKM19/0164.

## LITERATURA

1. GRAETZ L.: Electrochemical method of changing alternating into direct currents. *Elektrotechnische Zeitschrift*. 18 (29): 423–424, 1897.
2. STRZELECKI R.: *Power Electronics in Smart Electrical Energy Networks*. Springer, 2008.
3. MURRAY M.: *Bridge Rectifier Circuit – Electronics Basics*, The Geek Pub 2019.
4. SYBIL P. P.: *Concise Encyclopedia of Science and Technology*, Third Edition, Inc., McGraw-Hill, 1994.
5. DAVIS S.: *Power Management, Chapter 2: Power Supply Characteristics*, Power Electronics, 2018.
6. WHAITE S., GRAINGER B., AND KWASINSKI A.: *Power Quality in DC Power Distribution Systems and Microgrids*, 2010.
7. GÓRECKI, P.: cykl artykułów z numerów 3–7 czasopisma „Elektronika dla Wszystkich”: [https://elportal.pl/pdf/k01/03\\_12.pdf](https://elportal.pl/pdf/k01/03_12.pdf), [https://elportal.pl/pdf/k01/04\\_08.pdf](https://elportal.pl/pdf/k01/04_08.pdf), [https://elportal.pl/pdf/k01/05\\_06.pdf](https://elportal.pl/pdf/k01/05_06.pdf), [https://elportal.pl/pdf/k01/06\\_07.pdf](https://elportal.pl/pdf/k01/06_07.pdf), [https://elportal.pl/pdf/k01/07\\_08.pdf](https://elportal.pl/pdf/k01/07_08.pdf), 1996.
8. DAMIAN M.: Kurs elektroniki, Serwis internetowy FORBOT: <https://forbot.pl/blog/kursy>, 2019.
9. Serwis internetowy AVT – Miniaturowy zasilacz uniwersalny: <https://serwis.avt.pl/manuals/AVT1066.pdf>,
10. *Elektronika Praktyczna* 10/2016: <https://serwis.avt.pl/manuals/AVT1895.pdf>, 2016.
11. Serwis internetowy AVT – Moduł miniaturowego zasilacza: [https://serwis.avt.pl/manuals/AVT1913\\_24.pdf](https://serwis.avt.pl/manuals/AVT1913_24.pdf),
12. *Elektronika Praktyczna* 9/2015: <https://serwis.avt.pl/manuals/AVT1882.pdf>, 2015.