

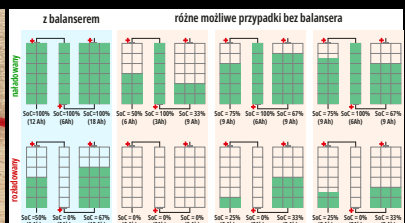
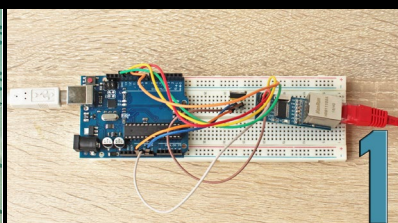
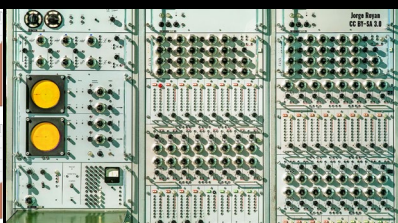
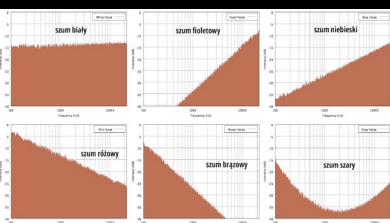
11/2026 Listopad (47)

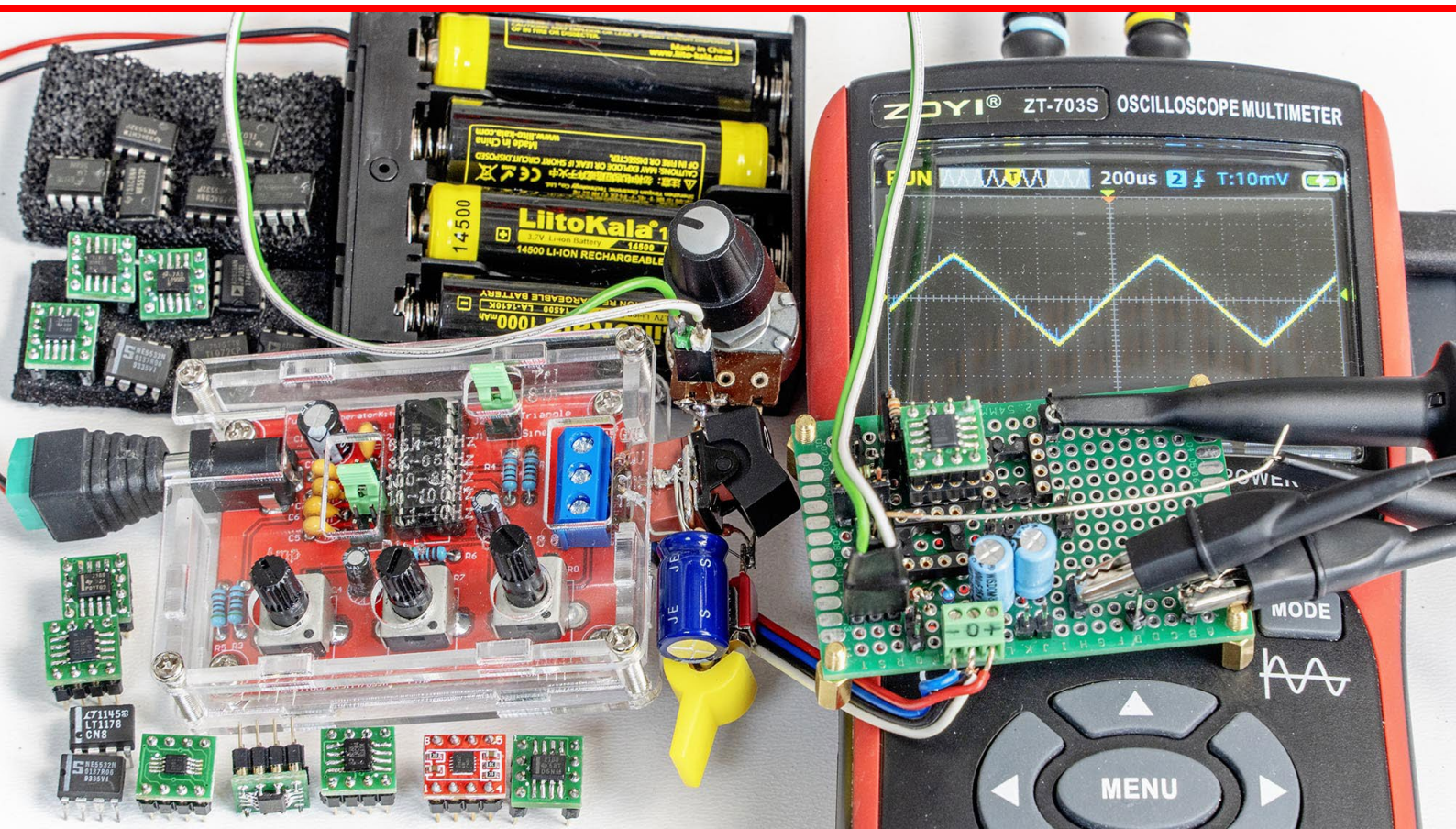
piotr-gorecki.pl



# Tester (nie)podrabianych wzmacniaczy operacyjnych

- Moduł ENC28J60 w środowisku Arduino • Moduł sieciowy z układem ENC28J60
- (Przerazająca) prawda o tanich balanserach • Problemy z kompilacją Raspberry Pico 2 W?
- Szumy, zniekształcenia, zakłócenia i decybele • Generatory z mostkiem Wiena
- Ile adresów oferował protokół IP? • Kondensator – matematyczny element różniczkujący





# Tester (nie)podrabianych wzmacniaczy operacyjnych

Ten projekt jest praktycznym uzupełnieniem artykułów [Wzmacniacze operacyjne – identyfikacja podróbek](#) oraz [Wzmacniacze operacyjne – pomiar szumów i zniekształceń](#). Prezentuje bardzo proste sposoby sprawdzenia, czy zakupione wzmacniacze operacyjne to kiepskie podróbki, czy też pełnowartościowe oryginały?

**Rozważania projektowe**

**Komplikacje, uproszczenia i kwestia obudów**

**Obwody zasilania**

**Praktyczna realizacja najprostszego testera**

**Podsumowanie**

Ceny większości podzespołów elektronicznych są bardzo atrakcyjne, czyli niskie, ale nadal niektóre elementy są stosunkowo drogie. Dotyczy to między innymi najlepszych wzmacniaczy operacyjnych, kosztujących kilkadziesiąt złotych za sztukę. W zasadzie nie dziwimy się temu, jeżeli znamy parametry takich wzmacniaczy i wiemy, jaki postęp dokonał się w tej dziedzinie. Dotyczy to między innymi wzmacniaczy operacyjnych przeznaczonych do sprzętu audio, gdzie kluczowe parametry dotyczą szybkości i szerokości pasma oraz jak najmniejszych zniekształceń i szumów.

Rozumiemy wprawdzie, że za najwyższą jakość trzeba zapłacić, ale wielu z nas kuszą niskie ceny w chińskich sklepach internetowych. Jest tam

bowiem mnóstwo ofert sprzedaży wzmacniaczy operacyjnych w cenach kilkukrotnie niższych, niż w sklepach europejskich. Ogólnie wiadomo, że jest mnóstwo oszukanych chińskich podróbek, ale tanie oferty kuszą... Wielu kupujących ma nadzieję, że zrobi dobry interes, że dużo taniej kupi oryginały, być może skądś wylutowane, ale sprawne. Niektórzy uważają, że Chińczycy znakomicie opanowali produkcję półprzewodników i wytwarzają nie tyle podróbki, co tanie pełnowartościowe zamienniki kostek najlepszych światowych firm. Sprawa jest skomplikowana, a niezawodnym sposobem wykrycia bezwartościowych podróbek jest pomiar i porównanie parametrów, który można przeprowadzić w prosty sposób.

Ja mam w pracowni profesjonalne oscyloskopy i generatory, ale chciałem pokazać, że potrzebne pomiary można zrobić prościej, za pomocą sprzętu dostępnego dla niezamożnego hobbysty. Dlatego celowo wykorzystałem chiński kit generatora z kostką XR2206, jak pokazuje **fotografia tytułowa** i fotografie w artykule.

Ale zaczniemy od kwestii prostszych. **Fotografia 1** przedstawia pobór prądu oryginału – wzmacniacza OPA2134 (THT) kupionego w godnym zaufania sklepie europejskim oraz taniego „zamiennika” (SMD), a raczej chińskiej podróbki. O tym, że to podróbka świadczy **rysunek 2** – fragment karty katalogowej, gdzie żółtym kolorem wyróżniony jest pobór prądu przez jeden wzmacniacz.

W kostce OPA2134 są dwa wzmacniacze, więc przy zasilaniu  $\pm 15\text{ V}$  typowy pobór prądu powinien wynosić około 8 mA. Ja mierzyłem przy napięciu  $\pm 7\text{ V}$ , więc nie dziwi prąd 6,8 mA. A jeżeli w chińskiej kostce dwa wzmacniacze pobierają po około 1,2 mA, to zapewne jest podróbka.

Zapewne tak, ale to nie jest ostateczny dowód. Taki dowód przynosi **fotografia 3**. Na wejście wzmacniacza o wzmacnieniu około 11× podawany jest sygnał prostokątny (przebieg niebieski). Przebieg żółty pokazuje sygnał na wyjściu. Nie ulega wątpliwości, że

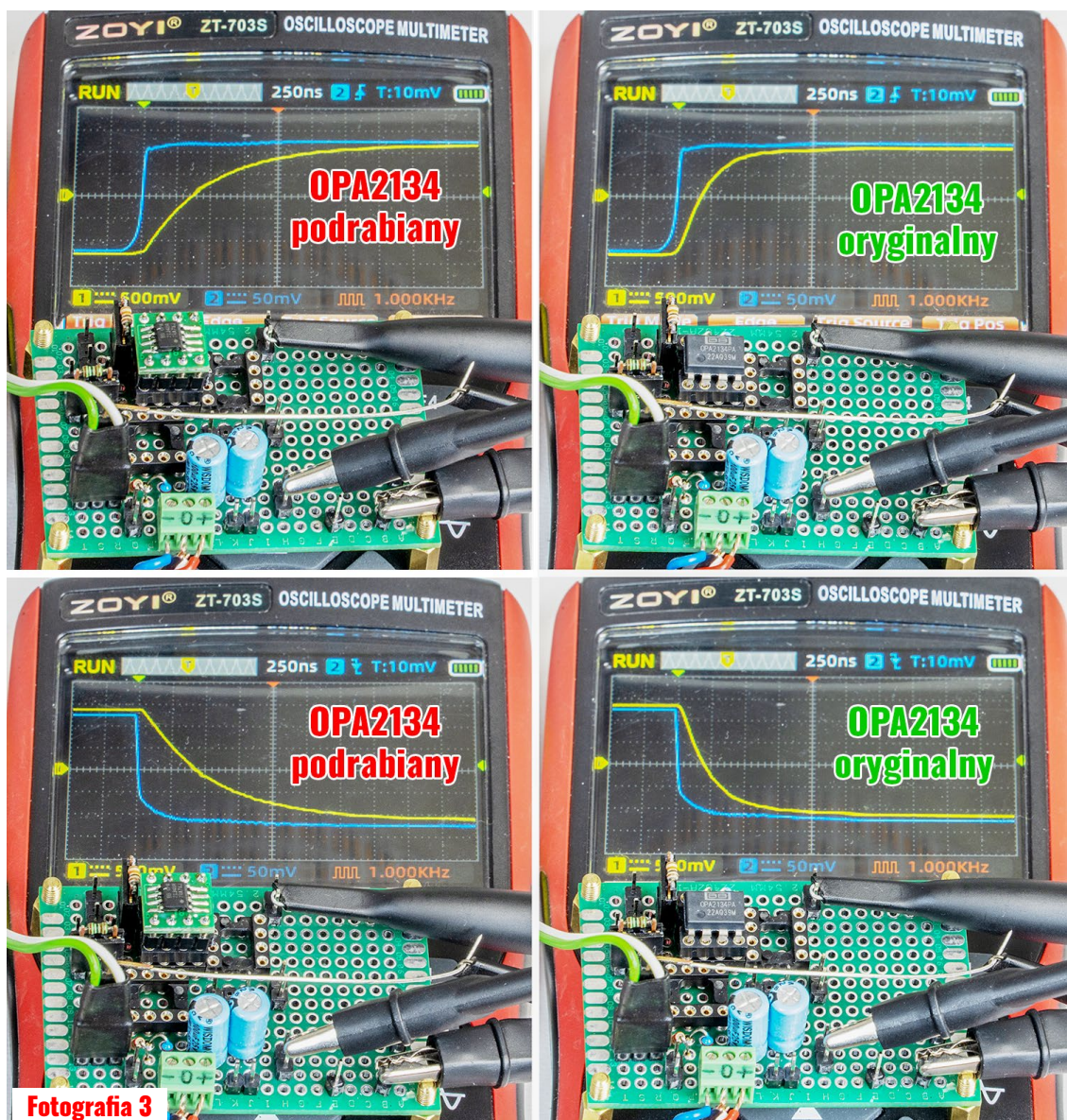


At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{ V}$

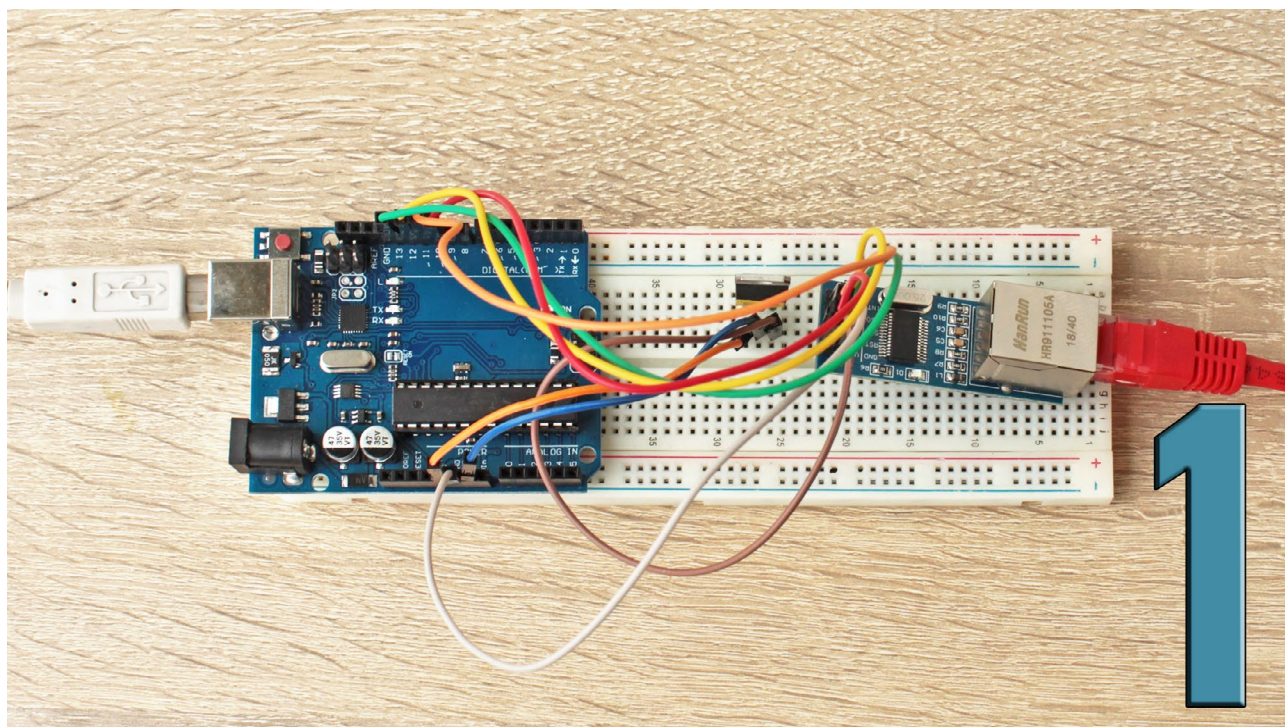
OPA134, OPA2134, OPA4134

| PARAMETER                         | MIN       | TYP      | MAX      | UNIT             |
|-----------------------------------|-----------|----------|----------|------------------|
| Gain-Bandwidth Product            |           | 8        |          | MHz              |
| Slew Rate <sup>(2)</sup>          | $\pm 15$  | $\pm 20$ |          | V/ $\mu\text{s}$ |
| Full Power Bandwidth              |           | 1.3      |          | MHz              |
| Settling Time 0.1%                |           | 0.3      |          | $\mu\text{s}$    |
| Specified Operating Voltage       |           | $\pm 10$ |          | V                |
| Operating Voltage Range           | $\pm 2.5$ |          | $\pm 18$ | V                |
| Quiescent Current (per amplifier) |           | 4        | 5        | mA               |

**Rysunek 2**



**Uwaga! To jest demonstracyjny (niepełny) egzemplarz czasopisma ZE. W pełnej wersji ten artykuł oczywiście ma więcej stron.**



# Moduł ENC28J60 w środowisku Arduino, część 1

Nowoczesna technologia, jaką jest komunikacja z wykorzystaniem sieci ethernet, zeszyła „pod strzechy”. Rozwiązania, które do niedawna były domeną komputerów, a później zaawansowanych mikrokontrolerów ARM, dzisiaj stają się dostępne nawet w środowiskach prostych mikrokontrolerów.

[Instalacja biblioteki do obsługi ENC28J60](#)

[Środowisko sprzętowe](#)

[Pierwszy program](#)

[Treść strony](#)

[Drugi program](#)

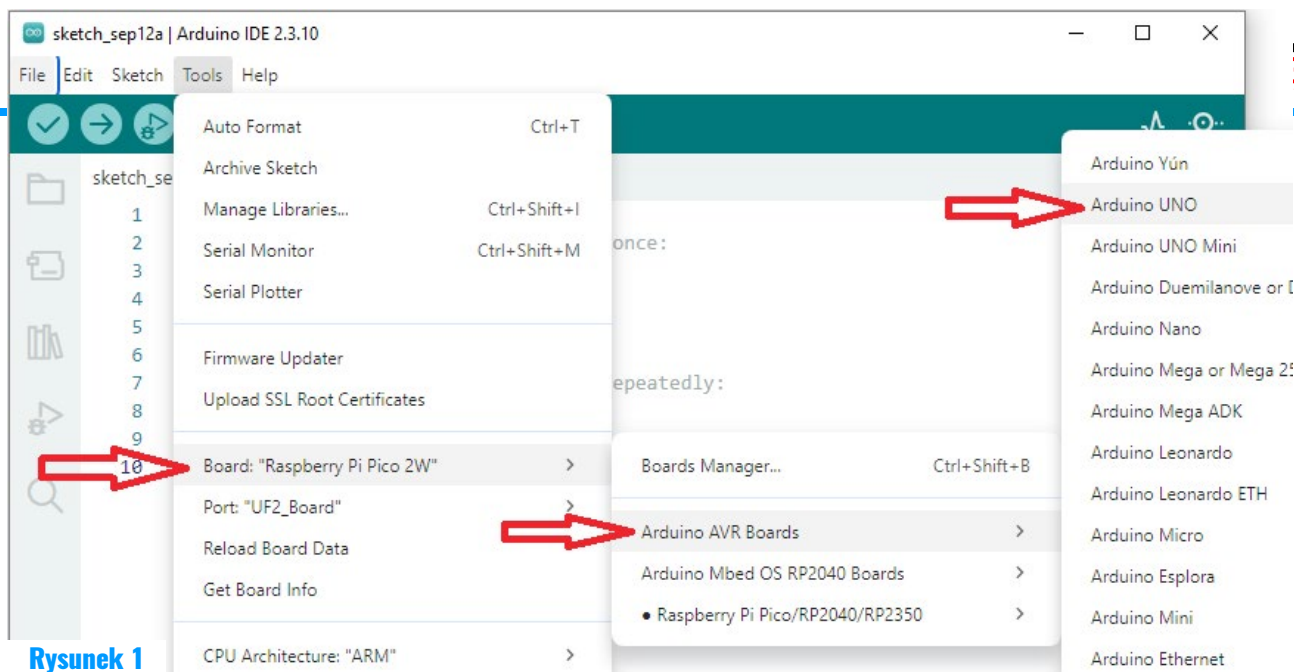
[Kłopoty uruchomieniowe i ograniczenia](#)

Nowoczesne mikrokontrolery często mają w swojej strukturze zintegrowane zaawansowane kontrolery sieciowe, które mogą być wykorzystane do szeroko rozumianej komunikacji. Jednak nie wszystkie procesory są wyposażone w takie możliwości. Nie zamyka to przed nimi możliwości współpracy z sieciami komputerowymi. Przemysł elektroniczny oferuje układy pozwalające na rozwiązanie takich problemów. Jednym z nich jest układ ENC28J60, będący samodzielnym kontrolerem sieciowym. Na rynku dostępne są gotowe moduły bazujące na wspomnianym układzie, będące kompletnym rozwiązaniem umożliwiającym przyłączenie nawet prostych mikrokontrolerów do sieci ethernet. Jedynym wymogiem jaki musi spełniać

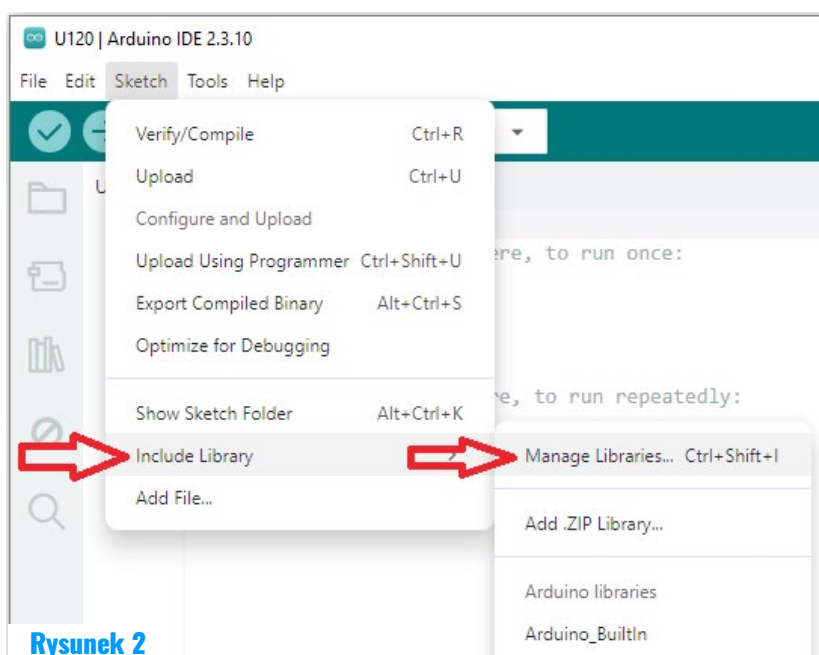
mikrokontroler, jest obsługa szeregowego interfejsu SPI, gdyż poprzez ten interfejs następuje wymiana danych między modułem sieciowym a mikrokontrolerem. Sam moduł jest wystarczająco dokładnie opisany w artykule *Moduł sieciowy z układem ENC28J60*.

## Instalacja biblioteki do obsługi ENC28J60

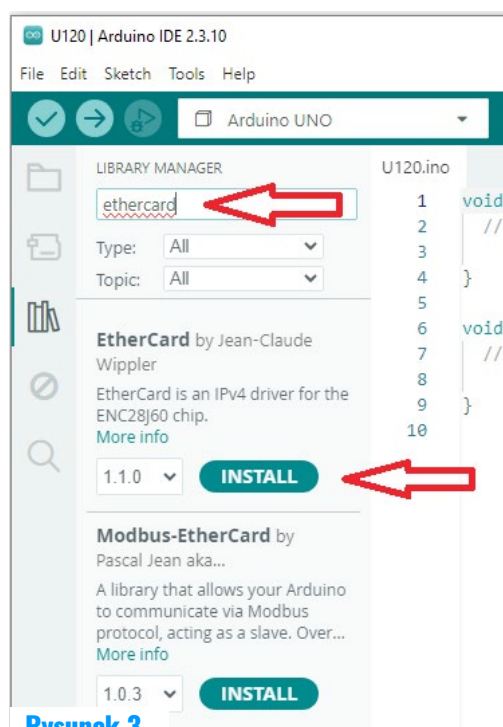
Moduł z układem ENC28J60 może być wykorzystany w środowisku Arduino. Ponieważ wspomniany kontroler sieciowy nie ma wbudowanej obsługi wyższych warstw obsługi sieci (obsługuje jedynie najniższą warstwę sieciową: MAC i PHY), wymaga programowej ich obsługi przez program zawarty w mikrokontrolerze. Taką funkcję pełni odpowiednia biblioteka funkcji



Rysunek 1



Rysunek 2



Rysunek 3

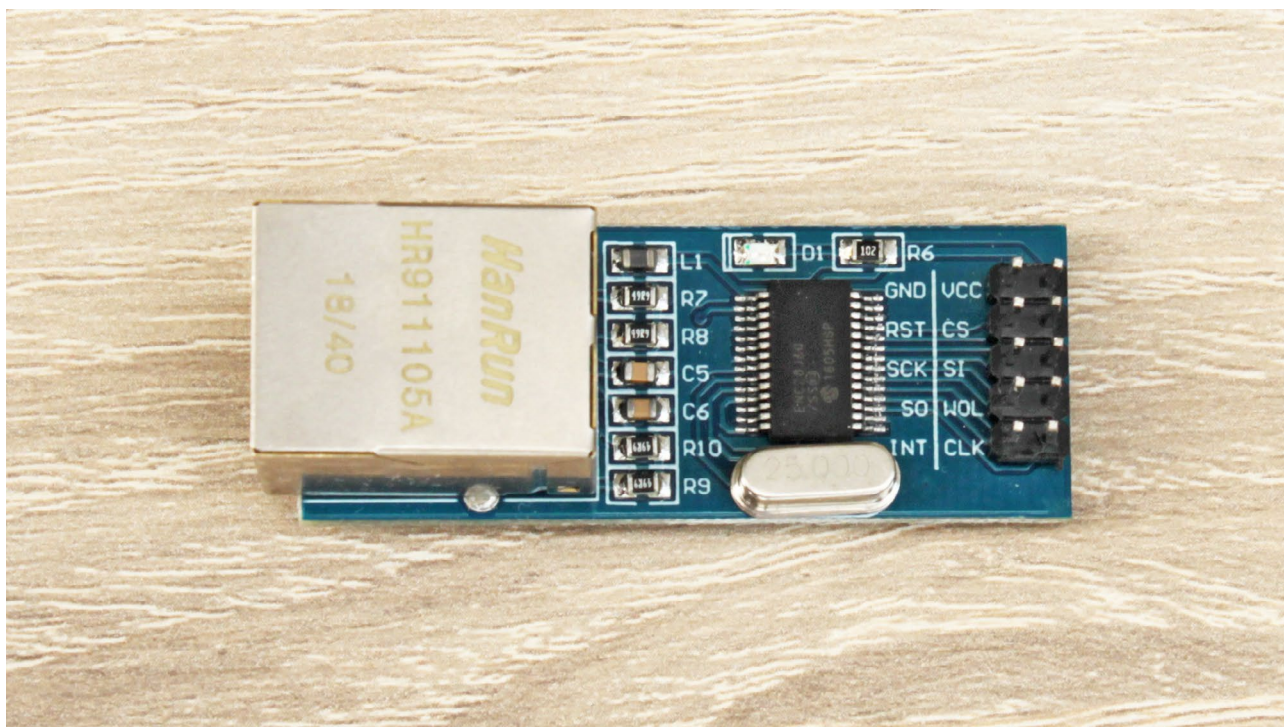
dołączana do programu, którą należy doinstalować dla środowiska Arduino. Po uruchomieniu arduinowego IDE i określeniu, że platformą sprzętową jest Arduino Uno (**rysunek 1**), przechodzimy do zainstalowania odpowiedniej biblioteki obsługi. Istnieje kilka różnych bibliotek obsługujących wspomniany moduł. Biorąc pod uwagę techniczne cechy samego mikrokontrolera ATMEGA328P (wielkość pamięci Flash i RAM) oraz złożoność obsługi stosu TCP/IP, w miarę optymalnym rozwiązaniem jest zainstalowanie biblioteki *EtherCard*. W tym celu należy wybrać *Sketch - Include Library - Manage Libraries* (**rysunek 2**). W okienku *Library Mana-*

**Uwaga! To jest demonstracyjny (niepełny) egzemplarz czasopisma ZE.  
W pełnej wersji ten artykuł oczywiście ma więcej stron.**



Rysunek 4

Processing EtherCard:1.1.0; Installed EtherCard@1.1.0



# Moduł sieciowy z układem ENC28J60

Komunikacja z wykorzystaniem sieci ethernetowych przestała być domeną jedynie komputerów. Dostępnych jest wiele układów, prostszych lub bardziej złożonych, umożliwiających przyłączenie nawet małych mikrokontrolerów do wspomnianych sieci.

## Układ ENC28J60

Transmisja danych w środowiskach mikrokontrolerów z wykorzystaniem sieci ethernetowych wymaga „posiadania” dwóch elementów: wbudowanego bloku MAC (Media Access Control, czyli odpowiednika karty sieciowej) oraz układu PHY, którego zadaniem jest obsługa warstwy fizycznej, czyli przyłącza. W wariancie 100 Mbps (prędkość transmisji 100 megabitów na sekundę) te dwa elementy z reguły są fizycznie rozdzielone. Blok MAC jest podzespołem wewnątrz mikrokontrolera i zajmuje się przetwarzaniem sygnałów cyfrowych. Z kolei układ PHY charakteryzuje się pracą analogowo-cyfrową. Te dwa „fragmenty” łączone są ze sobą poprzez znormalizowany

## Moduł z układem ENC28J60

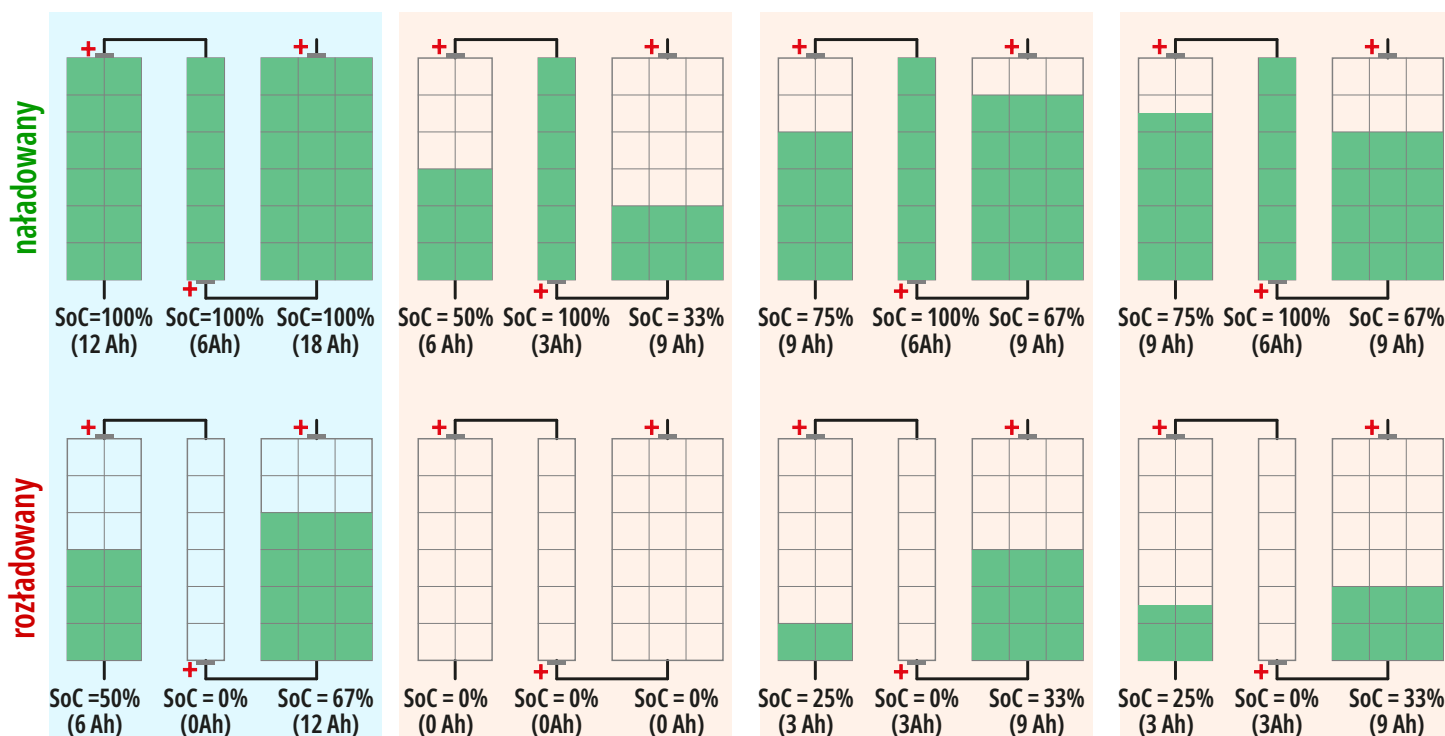
Taki rozdział wynika z kilku powodów: technologicznych (układy logiczne mikrokontrolera oraz analogowe układy wejściowe PHY różnią się technologią wykonania) oraz użytkowych (brak wbudowanego PHY pozwala projektantowi wybrać, czy medium transmisyjnym jest miedź, czy światłowód).

W zakresie prędkości transmisji 10 Mbps z reguły blok MAC oraz PHY są łączone w jednej strukturze. Oprócz tytułowego ENC28J60 popularnym jest choćby CS8900, którego podstawową wadą jest konieczność „użytkowania” dużej liczby pinów. Obecne mikrokontrolery dysponują dość mocno ograniczoną liczbą styków do komunikacji ze światem zewnętrznym.

**Uwaga! To jest demonstracyjny (niepełny) egzemplarz czasopisma ZE. W pełnej wersji ten artykuł oczywiście ma więcej stron.**

## z balanserem

## różne możliwe przypadki bez balansera



# (Przerażająca) prawda o tanich balanserach

W wcześniejszych numerach ZE publikowany był cykl artykułów poświęconych akumulatorom litowym. Cykle zakończył się [artykułem opisującym różne rodzaje i odmiany balanserów](#). Właśnie temat BMS-ów i balanserów okazuje się fałszywie rozumiany, dlatego to balanserom poświęcone są kolejne artykuły.

Co to jest balansowanie akumulatora?  
„Ładowanie do pełna” wszystkich ogniw

Idea balansowania ogniw  
Wpływ balansowania na pojemność użytkową

Zgodnie z nazwą, **balansery mają wyrównywać różnice między poszczególnymi ogniwami wchodzącymi w skład baterii – akumulatora**. Większość posiadaczy akumulatorów litowych z balanserem żyje w błogiej i fałszywej (nie)świadomości, że obecność obwodów balansujących pozwala w pełni wykorzystać możliwości wszystkich ogniw składowych. **A to zdecydowanie NIE jest prawdą!** Zdecydowanie!

W tym artykule omówię bardzo nieprzyjemne, zaskakujące słabo rozumiane kwestie: Co balansery wyrównują? Czego nie wyrównują?

Przypomnijmy to co najważniejsze: dawniej dominowały akumulatory kwasowo-ołowiowe, a często

wykorzystywano też akumulatory zasadowe (NiCd, NiMH). Najbardziej odporne na błędy użytkownika były akumulatory zasadowe, które właśnie z tego względu do dziś używane są w lampkach ogrodowych. Akumulatory kwasowo-ołowiowe też były i są względnie odporne na niewłaściwe użytkowanie, choć mocno im szkodzi niedoładowanie oraz długotrwałe, głębokie rozładowanie, prowadzące do tak zwanego zasiarczenia, objawiającego się dużą utratą pojemności. Dziś zdecydowanie najlepsze parametry mają akumulatory litowe, ale są one najdelikatniejsze. Groźne dla nich jest i nadmierne rozładowanie, i przeładowanie, bo wiąże się z szybką utratą pojemności.

Dlatego wiele pojedynczych ogniw litowych oraz wszystkie baterie, czyli zestawy ogniw, mają wbudowane tak zwane BMS-y. Najważniejszym zadaniem BMS-a (Battery Management System) jest ochrona wszystkich ogniw zarówno przez rozładowaniem „do zera”, jak też przed przeładowaniem, co w niektórych odmianach ogniw oznacza ryzyko pożaru i wybuchu. Wiele BMS-ów ma liczne dodatkowe funkcje, jak możliwość komunikacji np. przez wi-fi lub Bluetooth), a przede wszystkim ma funkcję i obwody balansera, czyli „wyrównywacza”. Podkreślam: funkcje ochronne akumulatora litowego zapewnia BMS, natomiast balanser (balancer) to układ opcjonalny, dodatkowy, pomocniczy, który współpracuje z BMS-em i ma coś dodatkowo balansować, wyrównywać.

## Co to jest balansowanie akumulatora?

Temat balansowania jest bardzo słabo rozumiany. Mnóstwo wpisów internetowych wprowadza w błąd: albo wprost zawiera błędne informacje, albo pośrednio sugeruje, że balanser „pozwala w pełni wykorzystać możliwości ogniw składowych”.

**Rysunek 1** pokazuje fragment wpisu ze strony dobrego sklepu internetowego. Prawdziwe jest tylko jedno zdanie, że ogniwa składowe nie są jednakowe. Cała reszta wprowadza w błąd. Podobnie jest w tekście z **rysunku 2**. Okruchy prawdy wymieszane są z informacjami ewidentnie nieprawdziwymi i wprowadzającymi w błąd (typowy balanser nie przekierowuje prądu czy energii z ogniw mocniejszych do słabszych, a raczej odwrotnie). Całość to reklama handlowa, a nie wyjaśnienie działania balansera.

W błąd wprowadza nawet wpis w Wikipedii (**rysunek 3**). Owszem, zawarta jest tu prawidłowa informacja, że **balansowanie akumulatorów to proces mający na celu wyrównanie stanu naładowania poszczególnych ogniw w baterii**, co wiąże się z wyrównaniem napięcia. Prawdziwe jest też zdanie, że „energia limitowana jest przez ogniwo o naj-

układ balansujący, dedykowany dla pakietu akumulatorów zbudowanego z 3 ogniw Li-ION w szeregu, o napięciu 11,1V. **Balansowanie ogniw** polega na poprawie wydajności baterii, zwiększenie całkowitej pojemności pakietu oraz jego żywotności. Jest to działanie konieczne, ponieważ **poszczególne ogniwa**, nawet dostarczane przez tego samego producenta, mogą różnić się między sobą pod względem poziomu maksymalnego rozładowania, pojemności, impedancji oraz charakterystyki temperaturowej. Skutkuje to różnym poziomem ich naładowania, co z kolei wpływa na całkowitą pojemność baterii – na przykład część ogniw w niezbalansowanej baterii może się rozładowywać lub ładować szybciej niż pozostałe. Dlatego **balansowanie ogniw** jest zwykle zalecane już w przypadku baterii z co najmniej trzema ogniwami, a w przypadku większej ich liczby staje się koniecznością. Balanser pasuje do układu

**Rysunek 1** – Akumulatorów BQM-L03S25-201(A), dostępnego tutaj

**BMS z balanserem** to układ ochronny do baterii, który poza standardowymi zabezpieczeniami (przed przeładowaniem, zbyt głębokim rozładowaniem, przeciążeniem i przegrzaniem) posiada funkcję aktywnego wyrównywania ogniw. Wbudowany balancer przekierowuje niewielki prąd z bardziej naładowanych celi do tych słabszych podczas ładowania, dzięki czemu wszystkie ogniwa osiągają pełne naładowanie jednocześnie. Efektem jest równomierna praca akumulatora bez słabych ogniw ograniczających cały pakiet.

Działanie **BMS-u z balanserem** znacząco wydłuża żywotność baterii oraz pozwala wykorzystać jej 100% pojemności. Zbalansowany pakiet Li-Ion czy LiFePO<sub>4</sub> jest też bezpieczniejszy w eksploatacji – unika się ryzyka przeładowania pojedynczych ogniw. Rozwiązanie to doceniają zarówno użytkownicy e-rowerów i magazynów energii, jak i majsterkowicze budujący własne baterie, bo zmniejsza ono potrzebę ręcznej konserwacji

**Rysunek 2**

się kończą, a całość niczego nie wyjaśnia. Wspomniany problem zbyt dużego lub zbyt małego napięcia rozwiązuje BMS, a nie balanser! W sumie nieprawdziwa jest informacja o „maksymalizowaniu wykorzystania pojemności”.

W tego rodzaju „wyjaśnieniach” jest prawidłowa, lakoniczna wzmianka o jakimś wyrównywaniu, ale albo nie ma szerszych rzetelnych informacji, albo dalej występuje „poezja” – to, czego Autor wpisu nie wie, ale domyśla się na temat zapewne błogosławionych skutków zakupu i zastosowania balansera.

Temat jest naprawdę słabo rozumiany i na niektórych stronach internetowych znajdujemy totalne bzdury. Na przykład najpierw czytamy, że „gdy niektóre ogniwa są bardziej naładowane niż inne, akumulator nie będzie w stanie wykorzystać pełnej swojej pojemności”. Czy Autor wpisu (podpisany imieniem i nazwiskiem) pomyślał, co z tego zrozumie Czytelnik?

## Balansowanie akumulatorów [edytuj wstęp]

🌐 8 języków ▼

**Balansowanie akumulatorów**<sup>[1]</sup> – proces mający na celu wyrównanie stanu naładowania poszczególnych ogniw w baterii (*pakietu*) celem zmaksymalizowania wykorzystania **pojemności** takiego pakietu oraz przedłużeniem żywotności. Szczególnie wrażliwe są baterie ogniw **Litowych**, których elektrochemia sprawia, że przekraczając napięcia operacyjne (ok. 2.0 – 4.2 V w zależności od typu materiału **katodowego**)<sup>[2]</sup> dochodzi do nieodwracalnego uszkodzenia, a nawet do puchnięcia, wycieków elektrolitów czy zapłonu<sup>[3]</sup>.

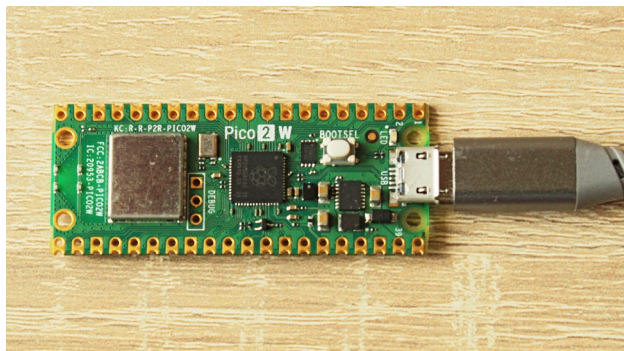
### Przyczyna i konsekwencje nierównomiernego rozdysponowania energii

Zazwyczaj akumulatory tworzące baterię niewiele różnią się pojemnością, jednak różnica ta po kilkukrotnym cyklu ładowania-rozładowania bez balansowania staje się istotna i dochodzi do sytuacji w której napięcie na

**Uwaga! To jest demonstracyjny (niepełny) egzemplarz czasopisma ZE.**  
**W pełnej wersji ten artykuł oczywiście ma więcej stron.**

# Skrzynka pytań i odpowiedzi

W tej rubryce przedstawiane są odpowiedzi na wybrane pytania dotyczące elektroniki, zawarte w komentarzach do postów i filmów, nadsyłane przez Patronów i Mecenasów oraz innych Czytelników.



## Problemy z kompilacją Raspberry Pico 2 W?

**(...) otrzymałem e-maila „Problem z kompilacją”, o treści: Dzień dobry, po przeczytaniu Pana artykułu (...) postanowiłem spróbować pobawić się w Raspberry. Niestety, przy próbie kompilacji dostałem taki oto komunikat: (...) Compilation error (...) Pozdrawiam serdecznie**

w którego nazwie nie ma żadnych dziwnych znaczków. Zadziałało.

Pozdrawiam serdecznie  
**Paweł Pawłowicz**

A oto szersze informacje.

Po ukazaniu się artykułu „*Malinka*” dla początkujących, cz. 1 (ZE 10/2026), od Czytelnika i Współautora czasopisma *Zrozumieć Elektronikę* otrzymałem e-maila zawierającego między innymi taki tekst:

(...) Niestety, przy próbie kompilacji dostałem taki oto komunikat: C:/Users/Paweł Pawłowicz/AppData/Local/Arduino15/packages/rp2040/tools/pqt-gcc/5.0.0-9576866/bin/./lib/gcc/arm-none-eabi/16.1.0/./../arm-none-eabi/bin/ld.exe: cannot open linker script file C:\Users\Paweł Pawłowicz\AppData\Local\arduino\sketches\51034354BB99F-F1646AB56AAE5BF6171\memmap\_default.ld: Invalid argument

```
collect2.exe: error: ld returned 1 exit status
exit status 1
```

Compilation error: exit status 1 (...)

## Problem z kompilacją w Arduino

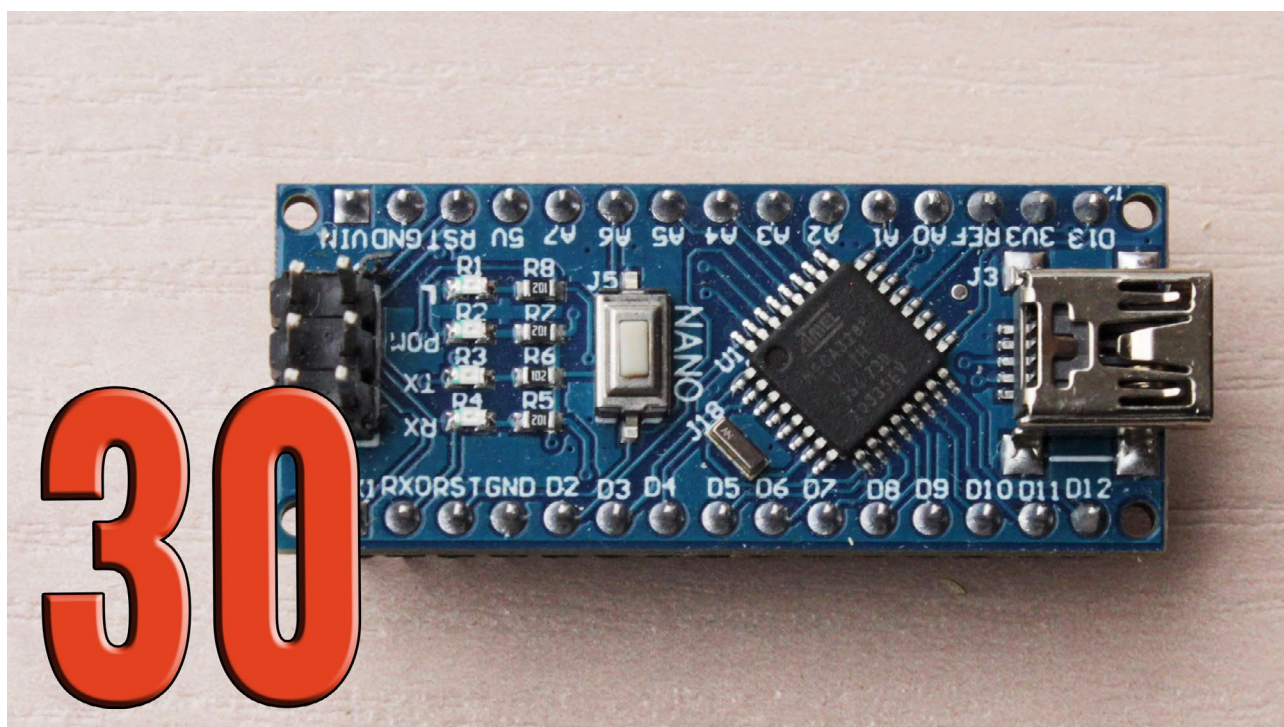
Właściwie to nawet nie zdążyłem zareagować na powyższą wiadomość, gdy po około 4 godzi-

Problemem okazała się nazwa użytkownika w systemie Windows, która zawierała polskie znaki diakrytyczne. Z tego można wysnuć wniosek, że oprogramowanie narzędziowe do „obróbki” mikrokontrolerów z rodziny Raspberry ma jeszcze luki. Po tych efektach trudno tu wskazać winowajcę. Zapewne sam pakiet narzędziowy dedykowany tym mikrokontrolerom robi co do jego należy, a jego praca jest kontrolowana przez środowisko IDE. Nie można wykluczyć, że to właśnie Arduino troszkę sobie nie radzi ze ścieżkami dostępu do katalogów (zawierających znaki spoza zestawu 7-bitowego ASCII). W moim przypadku ten problem mnie nie dotknął, gdyż moja nazwa użytkownika w Windows nie zawiera żadnych narodowych liter.

Przedstawione przez Pana Pawła rozwiązanie problemu może okazać się pomocne dla innych Czytelników. Nazwa użytkownika w Windows determinuje pewną nazwę katalogu w systemie plików Windows, gdzie na kolejnych poziomach zagłębienia znajdują się nasze pliki.

## Ukryte pliki w katalogach

**Uwaga! To jest demonstracyjny (niepełny) egzemplarz czasopisma ZE.  
W pełnej wersji ten artykuł oczywiście ma więcej stron.**



# Mikroprocesorowa ośła łączka, część 30

Język C/C++ oferuje cenny z punktu widzenia użytkowego mechanizm, określany w literaturze jako *callback*. Pod tym pojęciem ukrywa się funkcja (czasami nazywana funkcją zwrotną).

[Potrzeba jest matką wynalazku](#)  
[Implikacje rozwiązania](#)

[Przykład użycia](#)  
[Na zakończenie](#)

Z punktu widzenia struktur danych, *callback* jest zmienną w pamięci RAM, będącą wskaźnikiem do funkcji. W fazie uruchomienia programu w mikrokontrolerze, inicjowane są obszary danych. Jeżeli w programie znalazły się zapisy nadające zmiennym stan początkowy, to „na dzień dobry” mają one określone wartości początkowe. W przeciwnym wypadku, wszystkie zmienne są zerowane. Wskaźnik do funkcji dla mikrokontrolerów ATMEGA328 zajmuje dwa bajty w pamięci, gdyż dwubajtowa zmienna może przechowywać liczbę z zakresu 0...65535, co pozwala na zapis dowolnego adresu z przestrzeni programu (pamięć Flash tego mikrokontrolera jest ograniczona do 32 kB, co wymaga 15 bitów). Idea takich wskaźników do funkcji wymaga utworzenia jednego wyjątku. Traktując dowolny ciąg bitów jako

adres funkcji do wywołania w pamięci programu, to jak „zaznaczyć”, że wskaźnik jest „pusty”, nie prowadzi do żadnej funkcji (ma nie być wywołana). Taką specjalną kombinacją jest zero (wszystkie bity wyzerowane). Pozwala to na sprawdzenie choćby w instrukcji warunkowej *if*, czy wskaźnik jest pusty, czy prowadzi do funkcji. Ta koncepcja zmusza programistę do nadania takiemu wskaźnikowi odpowiedniej wartości, wpisania do zmiennej wskazania (adresu) odpowiedniej funkcji. Ta operacja jest określana jako rejestracja *callbacku*. Tego typu rozwiązania (*callback*) były często stosowane w przykładowych programach w języku C (obsługa klawiatury, ZE 8/2025). W przypadku języka C++, aby funkcja współdziałała z komponentami, zagadnienie jest troszkę bardziej złożone.

## Potrzeba jest matką wynalazku

Wyobraźmy sobie, że budujemy zasilacz, który jest wyposażony w układ wykrywający przeciążenie prądowe, które można ustawić na określoną wartość. Możliwym rozwiązaniem jest użycie rezystora pomiarowego, przykładowo o wartości  $0,05\ \Omega$  (zamieniający sygnał prądowy na napięciowy). Wymaga to jakiegoś układu wzmacniającego, którego wyjście wchodzi na przetwornik analogowo-cyfrowy w mikrokontrolerze. Pozwala to na ciągły pomiar napięcia reprezentującego pobór prądu z zasilacza. Mikrokontroler ATMEGA328 ma możliwość skonfigurowania przetwornika do pracy ciągłej. Zakończenie pomiaru automatycznie wyzwala kolejny pomiar (już bez programowego udziału mikrokontrolera). Obsługując przetwornik w przerwaniach istnieje gwarancja, że żaden pomiar się nie zagubi i mikrokontroler ma dostęp do „świeżych” danych. Bazując na klasie obsługi przetwornika (z poprzedniego artykułu) uzyskanie ciągłego pomiaru wymaga niewielkich zmian w jego konfiguracji – różnice pokazuje **rysunek 1**. Dotyczą one rejestru ADCSRA (dodanie bitu automatycznego wyzwolenia) oraz konfiguracji rejestru ADCSRB (określenie źródła ponownego wyzwolenia: wyzerowanie bitów ADTS0...ADTS2 oznacza bezwarunkowe wyzwolenie przetwornika do ponownego pomiaru).

Uzasadnione jest, by reakcja mikrokontrolera na przeciążenie była maksymalnie szybka, co pozwoli mikrokontrolerowi na odpowiednie działania (można zmniejszyć napięcie wyjściowe lub wyłączyć napięcie na wyjściu zasilacza – to już należy do konstruktora).

Gotowość przetwornika do odczytu nowej wartości jest sygnalizowana sygnałem przerwania. W jego obsłudze następuje odczyt nowej wartości (identycznie jak programie U114A), ale ten zapisuje jedynie dane do pól obiektu. Dopiero w pętli (w funkcji *main*) następuje odczyt danych z przetwornika (jako odczyt danych zapisanych w obiekcie), co daje pewną zwłokę. By rozwiązanie spełniało nasze nowe wymagania konieczna jest modyfikacja klasy obsługi

ADC.CPP

Konstruktor klasy przetwornika ADC

```
TAdcClass::TAdcClass ( Reference InitRef , Prescaler InitPrescaler )
{
    RangeCheckService = ( RangeCheckSrvType ) 0 ;
    ADMUX = static_cast<uint8_t> ( InitRef );
    ADCSRA |= ( 1 << ADEN ) | ( 1 << ADSC ) | ( 1 << ADIF ) |
        static_cast<uint8_t> ( InitPrescaler );
    // 2. Wybierz tryb Free Running (bity ADTS2, ADTS1, ADTS0 na 0)
    ADCSRB &= ~ ( ( 1 << ADTS2 ) | ( 1 << ADTS1 ) | ( 1 << ADTS0 ) );
    DataReady = false ;
    LastValue = 0 ;
} /* TAdcClass::TAdcClass */
```

ustawienie bitu ADIF realizuje automatyczne ponowne wyzwolenie przetwornika

ustawienie bitu ADIF oznacza obsługę w przerwaniach

rejestr ADCSRB określa źródło ponownego wyzwolenia tu jest wariant free running mode (wyzwolenie bezwarunkowe)

**Rysunek 1**

przy wystąpieniu przekroczenia, na przykład tak, jak pokazuje **listing 1**:

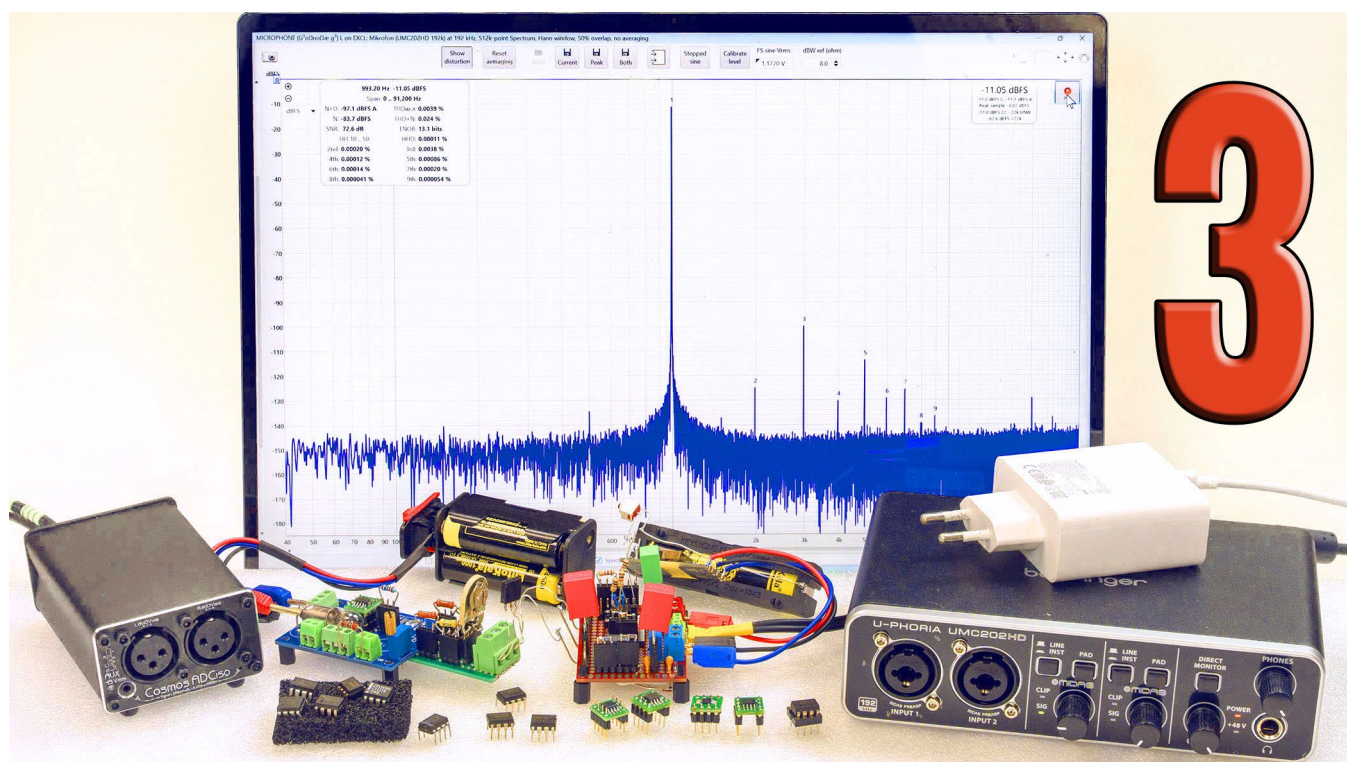
```
void VectorIsr ( TAdcClass * ThisParam )
{
    ThisParam -> LastValue = ADC ;
    ThisParam -> DataReady = true ;
    CheckRange ( ThisParam -> LastValue ) ;
} /* VectorIsr */
```

To rozwiązanie ma taką wadę, że funkcja *CheckRange* jest wywoływana zawsze (mając kilka różnych projektów, w niektórych jest potrzebna, w innych nie). Można ją zamienić na rozwiązanie typu *callback*. Dysponując takim modulem, w pewnych zastosowaniach taka funkcjonalność jest używana w innych nie, można utworzyć uniwersalne rozwiązanie.

Klasa opisująca działanie przetwornika uzyskuje nową postać – **listing 2** (na następnej stronie).

Znaczenie wybranych zapisów wyjaśnia **rysunek 2** (na następnej stronie). Występuje tu pewien pozorny problem: zachodzi konieczność utworzenia pola klasy jako wskaźnika do funkcji mającej parametr, będący wskaźnikiem do własnie definiowanej klasy (klasa jako typ nie jest jeszcze znana kompilatorowi). Rozwiązuje się to w następujący sposób: utworzona jest zapowiedź klasy (*class TAdcClass ;*). To jest informacja dla kompilatora, że nazwa *TAdcClass* jest identyfikatorem klasy (będzie w szczegółach zdefiniowana później), a obecnie wystarczy informacja, że jest to wskaźnik – parametr dla ATMEGA328, mieszczący się na dwóch bajtach. To pozwala już utworzyć typ dla funkcji *callback* (*typedef void ( \* RangeCheckSrvType ) ( TAdcClass \* ThisParam )*), który już legalnie może zostać użyty w docelowej konstrukcji klasy. Pole klasy *RangeCheckService* jest

**Uwaga! To jest demonstracyjny (niepełny) egzemplarz czasopisma ZE.**  
**W pełnej wersji ten artykuł oczywiście ma więcej stron.**



# Generatory z mostkiem Wiena (3)

W tym trzyczęściowym artykule opisane są, nadal atrakcyjne i bardzo pożyteczne generatory analogowe z mostkiem Wiena. Część pierwsza zawierała podstawowe informacje i proste rozwiązania, druga pokazała historię i rozwiązania trudniejsze, a trzecia przeznaczona jest głównie dla eksperymentatorów.

**Obwód wyznaczający częstotliwość**  
**Czy trzeba precyzyjnie dobierać elementy RC?**  
**Generator przebiegu sinusoidalnego i wielozakresowy**  
**Czy symetria jest istotna?**

**Optymalna amplituda sygnału na żarówce**  
**Gdzie kupić odpowiednio dobre podzespoły?**  
**Wzory i zależności**

Już od dość dawna planuję budowę eksperymentalnego generatora „jak najczystszejgo sinusa”, który byłby platformą do wypróbowania rozmaitych wersji i do zbadania, czy i jak można w warunkach domowych, niewielkim kosztem zrealizować generator przebiegu sinusoidalnego o jak najmniejszych zniekształceniach, poniżej 0,0001%, czyli 1 ppm.

To ma być prosty i tani układ, przydatny także dla wszystkich osób, które zajmują się techniką audio, którym wystarczy generator o nieco większych zniekształceniach. Czyli ma być zrealizowana wersja „laboratoryjna”, a także wersja podstawowa dla praktyków, którym nie są niezbędne skrajnie

małe zniekształcenia, którym wystarczy zawartość harmoniczných 0,001% lub trochę mniej. Przecież szczególnie w urządzeniach lampowych zniekształcenia harmoniczne są rzędu procenta lub więcej, więc tam wystarczy generator o umiarkowanych parametrach i absolutnie nie trzeba walczyć o tysięczne części procenta. Ale kto chce – może „powalczyć” o jak najlepsze parametry.

Podkreślam, że za pomocą popularnych dziś modułów DDS, tak małych zniekształceń „sinusa” uzyskać się nie da. Można uzyskać „czysty sinus” za pomocą komputerowej karty audio, ale wiele osób chce mieć autonomiczny generator sinusoidalny.

W pierwszym artykule tej serii wspomniałem o różnych sposobach wytwarzania „sinusa”, ale w praktyce warto wykorzystać właśnie generator z mostkiem Wiena. Powinien zawierać dobry wzmacniacz operacyjny. Jeżeli już robimy generator analogowy o znikomych zniekształceniach, koniecznie trzeba wykorzystać nowoczesny wzmacniacz operacyjny o naprawdę dobrej liniowości. Wzmacniacz z kilku pojedynczych tranzystorów zapewne takiej liniowości miał nie będzie.

Dobra wiadomość jest taka, że do wersji podstawowej wystarczy popularny wzmacniacz TL072, ewentualnie TL082 albo NE5532, byle oryginalny, o katalogowych parametrach. Szczegóły w końcowej części artykułu. Natomiast generator o skrajnie małych zniekształceniach opisuję szeroko w artykule **Eksperymentalny generator przebiegu sinusoidalnego.**

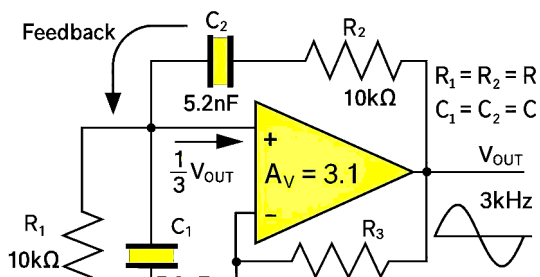
A oto garść informacji i wskazówek dla tych, którzy chcą eksperymentować.

## Obwód wyznaczający częstotliwość

Z reguły budujemy generator „czystego sinusa” o jednej częstotliwości. W ogromnej większości schematów do ustawienia częstotliwości wykorzystuje się dwa jednakowe kondensatory i dwa jednakowe rezystory. Przykład na **rysunku 1**. To jest przykład z kilku względów bezwartościowego schematu stworzonego przez kogoś, kto nie ma pojęcia o elektronice. Proponuje on między innymi wykorzystanie kondensatorów o pojemności 5,2 nF, a takich kondensatorów nie ma! W szeregu E96 jest nominal 5,23, a w szeregu E192 dodatkowo 5,17. A nominalu 5,2 nie było, nie ma i nie będzie. Owszem, czasem uzyskujemy potrzebną pojemność, łącząc kilka kondensatorów, tylko po co, jeśli można prościej! Otóż warto wybrać kondensator o popularnej wartości i dostosować wartość rezystorów.

**Najczęściej w technice audio (i nie tylko) wykorzystuje się generatory o częstotliwości 1 kHz i dokładnie taką częstotliwość można uzyskać stosując dwa kondensatory o pojemności 10 nF i dwa rezystory o wartości 15,9 kΩ. Takiego nominalu nie ma – można wykorzystać nominal 16 kΩ z 5-procentowego szeregu E24.** W 1-procentowym szeregu E96 są nominaly 15,8 oraz 16,2, a w szeregu E192 jest 16,0.

Generator z mostkiem Wiena może



częstotliwości. Górną granicę wyznaczy szybkość zastosowanego wzmacniacza operacyjnego – szybki wzmacniacz pozwoli uzyskać częstotliwości rzędu megaherców. Tak, pozwoli, ale zniekształcenia będą większe, bo zniekształcenia zależą m.in. od (redukcji) wzmocnienia wzmacniacza operacyjnego przy częstotliwości pracy (loop gain).

Z drugiej strony, można uzyskać przebiegi o częstotliwościach rzędu 10 Hz, a nawet mniej, ale wtedy też zniekształcenia prawdopodobnie będą większe.

Przy jednakowych wartościach par rezystorów i kondensatorów, częstotliwość drgań będzie równa:  $f = 1 / 2\pi RC$ , w praktyce liczymy:  $f = 0,159 / RC$ , pamiętając o jednostkach (omy, farady).

Warto stosować rezystory o wartościach z zakresu 1 kΩ...100 kΩ. Natomiast pojemności ustalające częstotliwość zasadniczo mogą być dowolne.

**Najczęściej C1 = C2 i R1 = R2, ale co ważne, pary C1, C2, R1, R2 wcale nie muszą mieć jednakowych wartości, o czym piszę na końcu artykułu.**

## Czy trzeba precyzyjnie dobrać elementy RC?

Łatwo zauważyć, że w praktycznych realizacjach generatorów z mostkiem Wiena w obwodzie ustalania częstotliwości, bardzo często stosowane są rezystory i kondensatory o bardzo wąskiej tolerancji lub dobierane indywidualnie. Czy to jest niezbędne?

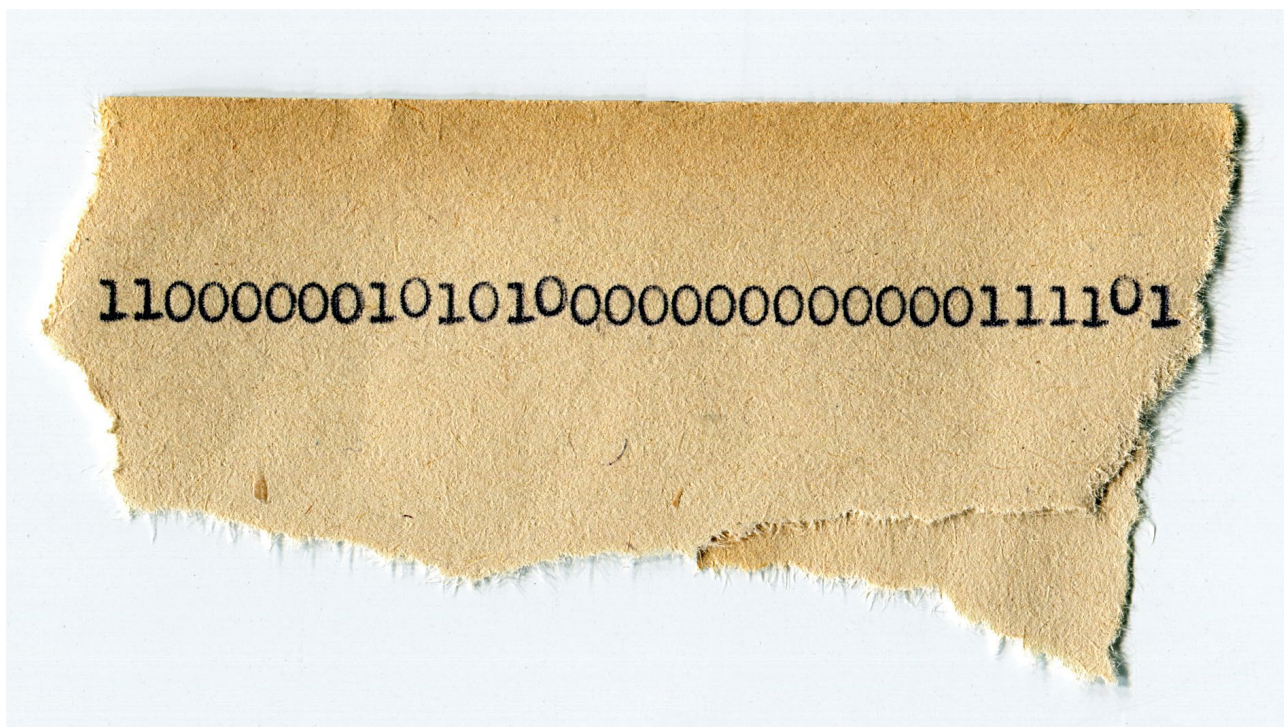
NIE jest niezbędne! Szczerze mówiąc, sama wąska tolerancja nic nie daje. Warto jednak mieć szerszy obraz zagadnienia, bo indywidualne dobieranie wartości może mieć sens.

Jedna sprawa to wartość częstotliwości wyjściowej. Mówimy o generatorach „najczystszej sinusa”, które wykorzystywane są przede wszystkim do testów aparatury audio. Dlatego są to głównie generatory o jednej częstotliwości, najczęściej 1 kHz (rzadziej 10 kHz lub 100 Hz). Czy ta częstotliwość musi wynosić dokładnie 1000 herców?

Absolutnie nie musi! Wystarczy, żeby wynosiła **mniej więcej 1000 herców. Różnica o 5% czy nawet 10% nie ma żadnego praktycznego znaczenia!** Nie jest więc konieczne sprawdzanie i dobieranie wartości kondensatorów i rezystorów, żeby uzyskać

ściśle określoną częstotliwość. Można spokojnie zastosować kondensatory o tolerancji 5% lub 10%. Tak, ale powinny to być kondensatory o wysokiej jakości. Dziś będą to kondensatory foliowe lub ceramiczne C0G (NP0), a nie ceramiczne feroelektryczne, ani elektrolityczne.

**Uwaga! To jest demonstracyjny (niepełny) egzemplarz czasopisma ZE. W pełnej wersji ten artykuł oczywiście ma więcej stron.**



# Ile adresów oferował protokół IP?

Klasyczny 32-bitowy adres IP pozwala na uzyskanie  $2^{32}$ , czyli ponad czterech miliardów kombinacji. W praktyce pula dostępnych adresów jest jednak mniejsza, ponieważ twórcy protokołu zarezerwowali część z nich na cele specjalne. Ile dokładnie urządzeń można więc zaadresować?

Pierwsze eksperymenty  
Narodziny adresu IP  
Zapis adresu IP

Podział na klasy  
Adresy zarezerwowane  
Wynik końcowy

## **Pierwsze eksperymenty**

Dawno, dawno temu nikt nawet nie słyszał o komputerach. Potem pojawiły się one najpierw w umysłach wizjonerów, a następnie przybrały postać prymitywnych konstrukcji. Z biegiem czasu maszyny te coraz bardziej zaczęły przypominać urządzenia, które dziś nazywamy komputerami.

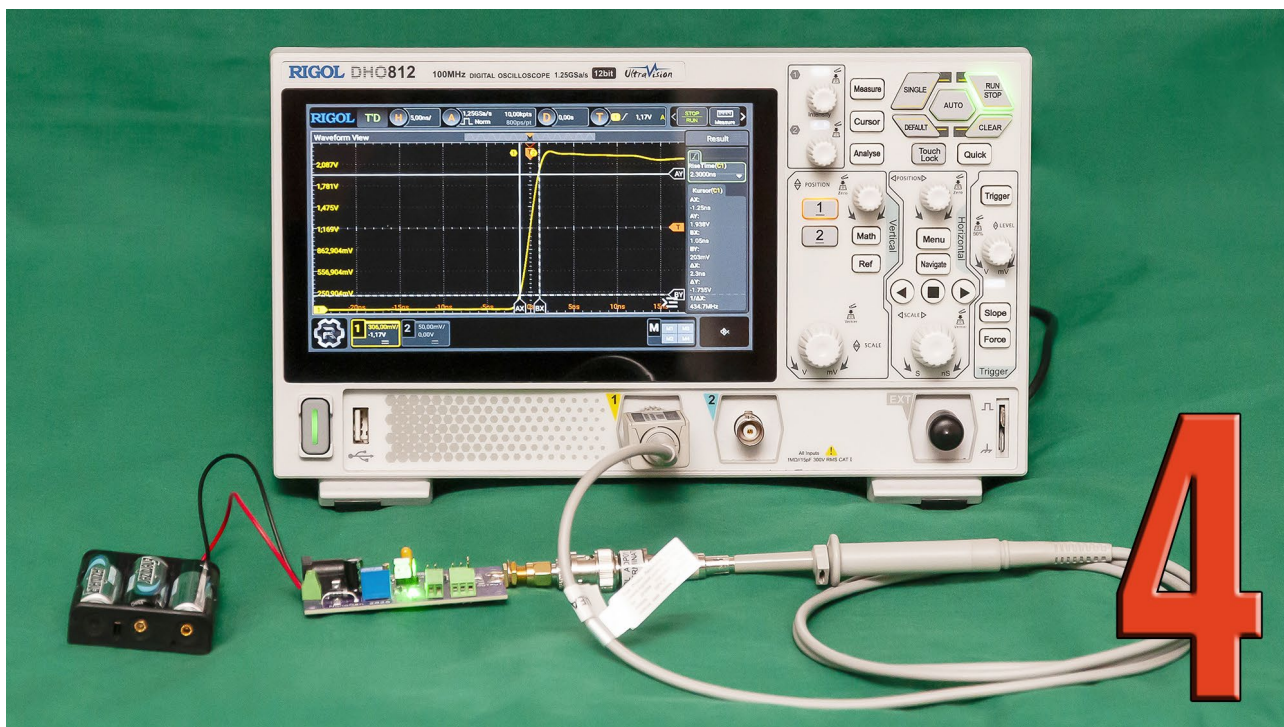
Przy czym początkowo te urządzenia, obsługiwane przez sztab fachowców, miały kontakt wyłącznie z tymi ludźmi. Później pojawiła się jednak myśl, aby

wówczas przesłać zaledwie dwie litery, wydarzenie to uznaje się za początek internetu.

## **Narodziny adresu IP**

Niewątpliwie już wówczas zaczęto zastanawiać się nad regułami, które pozwoliłyby zapewnić prawidłowe działanie większej liczby połączeń. Z początku, kiedy pierwsze sieci liczyły zaledwie po kilka komputerów, wystarczało zwykłe ponumerowanie poszczególnych węzłów. Jednak oczywiste było, że

**Uwaga! To jest demonstracyjny (niepełny) egzemplarz czasopisma ZE.  
W pełnej wersji ten artykuł oczywiście ma więcej stron.**



# Impulsowy test oscyloskopów i sond pomiarowych, część 4

Zmontowałem i przetestowałem „NanoGen – generator nanosekundowy” opisany w ZE 3/2026. Było to bardzo interesujące, wzbogacające wiedzę, ale też zaskakujące doświadczenie. W czterech artykułach chciałbym podzielić się swoimi spostrzeżeniami. Mam nadzieję, że moje uwagi przydadzą się innym Czytelnikom.

Weryfikacja Rigol ds1052e po modyfikacji pasma  
Wpływ overshootu na pozorny wzrost pasma  
Ograniczenia metody impulsowej

Zalety metody impulsowej  
Perspektywy dalszych badań  
Podsumowanie

W poprzednich częściach cyklu pokazałem, że odpowiedź impulsowa pozwala nie tylko oszacować efektywne pasmo badanego układu, ale również ujawnić zjawiska niewidoczne podczas klasycznych pomiarów częstotliwościowych. Szczególnie istotne okazały się wpływ terminacji linii transmisyjnej, obecność odbić, rezonansów pasożytniczych oraz charakter przeregulowania odpowiedzi przejściowej.

Naturalnym, kolejnym krokiem było porównanie wyników uzyskanych metodą impulsową z wcześniej wykonanym pomiarem częstotliwościowym

tego samego urządzenia. Do eksperymentu wybrałem oscyloskop Rigol DS1052E, który został wcześniej poddany popularnej modyfikacji programowej, która zwiększa deklarowane pasmo z 50 MHz do 100 MHz.

Badany egzemplarz był wcześniej analizowany metodą sinusoidalną, dzięki czemu dostępna była jego rzeczywista charakterystyka amplitudowa. Pozwoliło to przeprowadzić bezpośrednie porównanie obu metod i ocenić, w jakim stopniu czas narastania wyznaczony z odpowiedzi impulsowej odzwierciedla rzeczywiste właściwości toru analogowego.

## Weryfikacja Rigol ds1052e po modyfikacji pasma Charakterystyka amplitudowa badanego egzemplarza

Rigol DS1052E należy do grupy oscyloskopów, które zyskały dużą popularność dzięki możliwości programowego rozszerzenia deklarowanego pasma z 50 MHz do 100 MHz. W praktyce od wielu lat pojawiały się doniesienia wskazujące, że rzeczywiste możliwości analogowego toru wejściowego są jeszcze większe.

Badany egzemplarz został wcześniej poddany pomiarowi metodą sinusoidalną. Uzyskana charakterystyka amplitudowa przedstawiona na **rysunku 21** pokazuje zarówno przebieg fabryczny, jak i charakterystykę po wykonaniu modyfikacji.

Z wykresu wynika, że po modyfikacji, tłumienie pozostaje niewielkie aż do częstotliwości przekraczających 100 MHz. Punkt odpowiadający spadkowi amplitudy o około 3 dB występuje w pobliżu 125 MHz, co jest wartością wyraźnie większą od deklarowanych 100 MHz.

Na uwagę zasługuje również lokalne podbicie charakterystyki w zakresie około 90–110 MHz. Tego rodzaju zachowanie jest typowe dla układów wykorzystujących częściową korekcję charakterystyki amplitudowo-fazowej i może prowadzić do występowania przeregulowania odpowiedzi impulsowej.

Zjawisko to znajduje bezpośrednie odzwierciedlenie w dalszych pomiarach impulsowych, gdzie obserwowane jest wyraźne przeregulowanie odpowiedzi przejściowej.

Właśnie tę zależność postanowiłem zweryfikować przy użyciu nanogenerators impulsowego.

Stanowisko pomiarowe zestawilem w konfiguracji: nano-generator → adapter SMA-BNC → terminator przelotowy 50 Ω → wejście oscyloskopu DS1052E.

Zastosowanie terminatora 50 Ω eliminowało odbicia od strony obciążenia, dzięki czemu obserwowana odpowiedź była zdominowana przez właściwości analogowego toru wejściowego oscyloskopu.

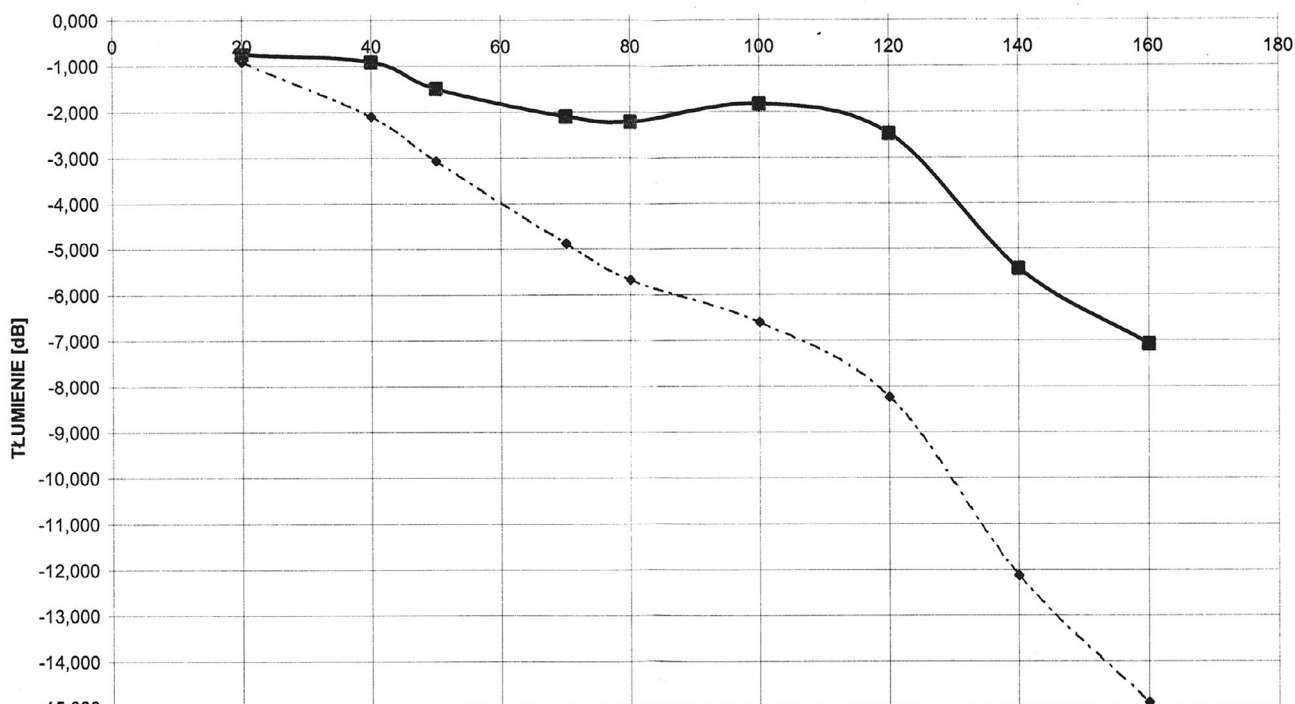
### Pomiar bez filtracji

Pierwszy pomiar wykonałem bez dodatkowej filtracji cyfrowej. Automatyczny algorytm oscyloskopu wyznaczył czas narastania  $t_r = 2,08$  ns, co odpowiada pasmu  $BW \approx 0,35/2,08$  ns,  $BW \approx 168$  MHz.

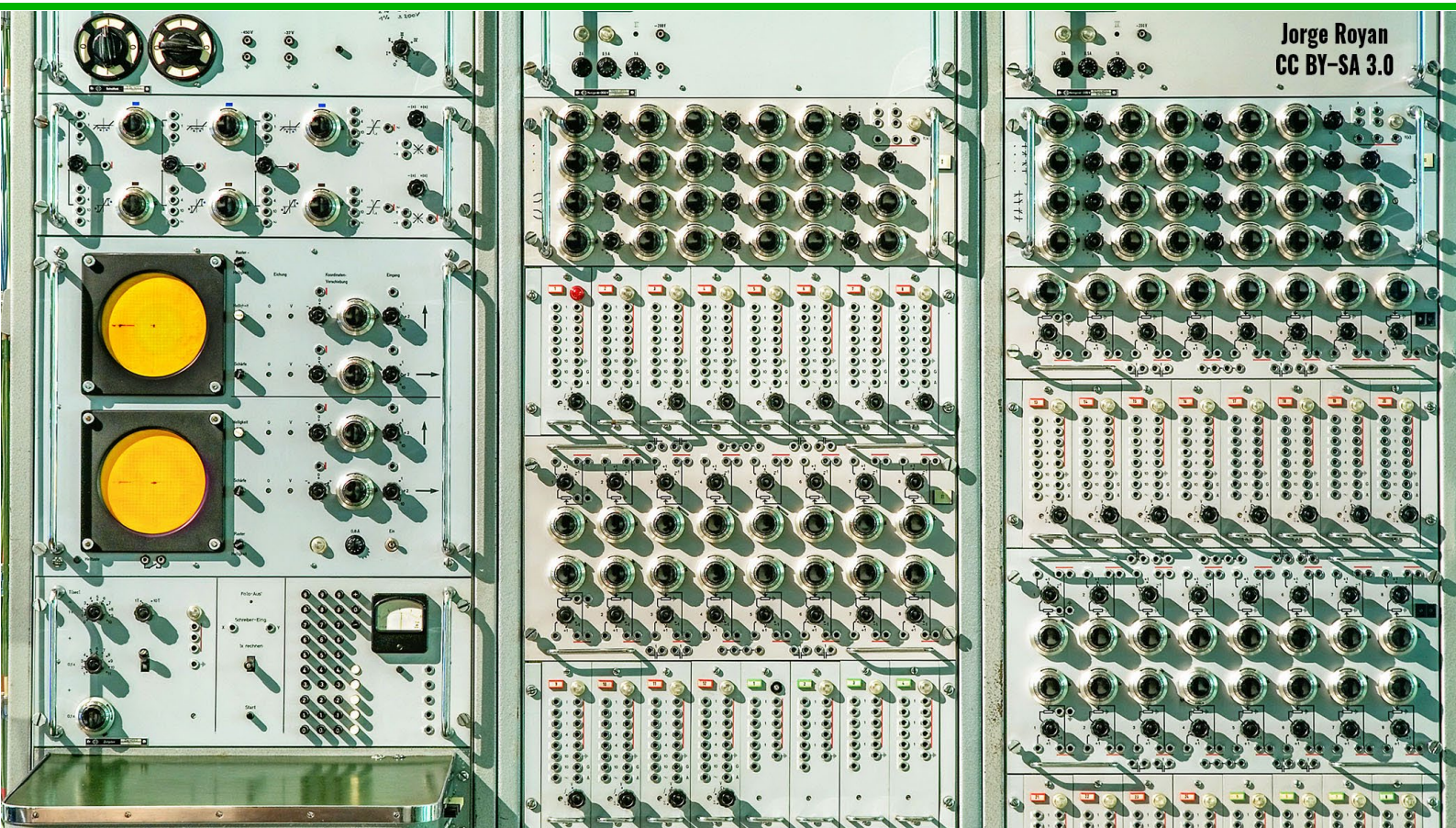
Na pierwszy rzut oka wynik ten może sugerować, że rzeczywiste pasmo badanego przyrządu znacznie przekracza 150 MHz. Dokładniejsza analiza przebiegu pokazuje jednak wyraźne przeregulowanie odpowiedzi o amplitudzie około 15–20% (**rysunek 22** na następnej stronie).

Po osiągnięciu maksimum sygnał wraca do poziomu ustalonego bez długotrwałego dzwonienia, jednak samo przeregulowanie powoduje lokalne wyostrzenie

CHARAKTERYSTYKA AMPLITUDEWA OSCYLOSKOPU RIGOL 1052E  
ORYGINALNA - LINIA PRZERYWANA  
PO ZMIANIE - LINIA CIĄGŁA



**Uwaga! To jest demonstracyjny (niepełny) egzemplarz czasopisma ZE.  
W pełnej wersji ten artykuł oczywiście ma więcej stron.**



# Kondensator – matematyczny element różniczkujący

Kondensatory to najpopularniejsze elementy elektroniczne. Najczęściej pełnią funkcję pomocniczych zbiorników energii oraz rozmaitych filtrów, a my koncentrujemy się na ich elementarnych właściwościach. Poniżej pokazuję ich inne zastosowania oraz sygnalizuję ogromnie ważną rolę matematyki w elektronice.

Funkcja w elektronice  
Pochodna i różniczkowanie

Różniczkowanie w elektronice

Poprzednie artykuły tej serii pokazały, że **niepełna i niedoskonała analogia hydrauliczna okazuje się pomocna do zrozumienia podstaw i nie tylko podstaw**. Kondensator to przede wszystkim zbiornik energii magazynowanej w polu elektrycznym ( $E = 0,5 \times C \times U^2$ ), ale kondensatory pełnią też inne funkcje, z których najprostszą jest filtrowanie, czyli rozdzielanie, separacja, selekcja. Filtrowaniem zajmujemy się oddzielnie, po omówieniu cewek (indukcyjności) oraz pojęcia impedancji, a w tym artykule chciałem zasygnalizować ogromnie ważne zagadnienie.

Otóż jest to materiał dla osób, które chcą zajmować się elektroniką w sposób praktyczny, między innymi prawidłowo wykorzystywać kondensatory

w układach elektronicznych. Tymczasem w szkołach przekazywane są głównie informacje teoretyczne, z których większość nijak się ma do elektronicznej praktyki. Dla praktyka bezwartościowe są szkolne rozważania z elektrostatyki, a koncentrowanie się na ładunku elektrycznym przynosi więcej szkody niż pożytku. **Szkolne obliczenia dotyczące ładunku i pojemności tylko obrzydzają uczniom te zagadnienia i obrzydzają matematykę**. Z różnych powodów mnóstwo osób nie lubi matematyki, ale problem w tym, że bez matematyki można poznać tylko elementarz elektroniki. **Bez matematyki nie da się poznać i zrozumieć trudniejszych aspektów elektroniki**.

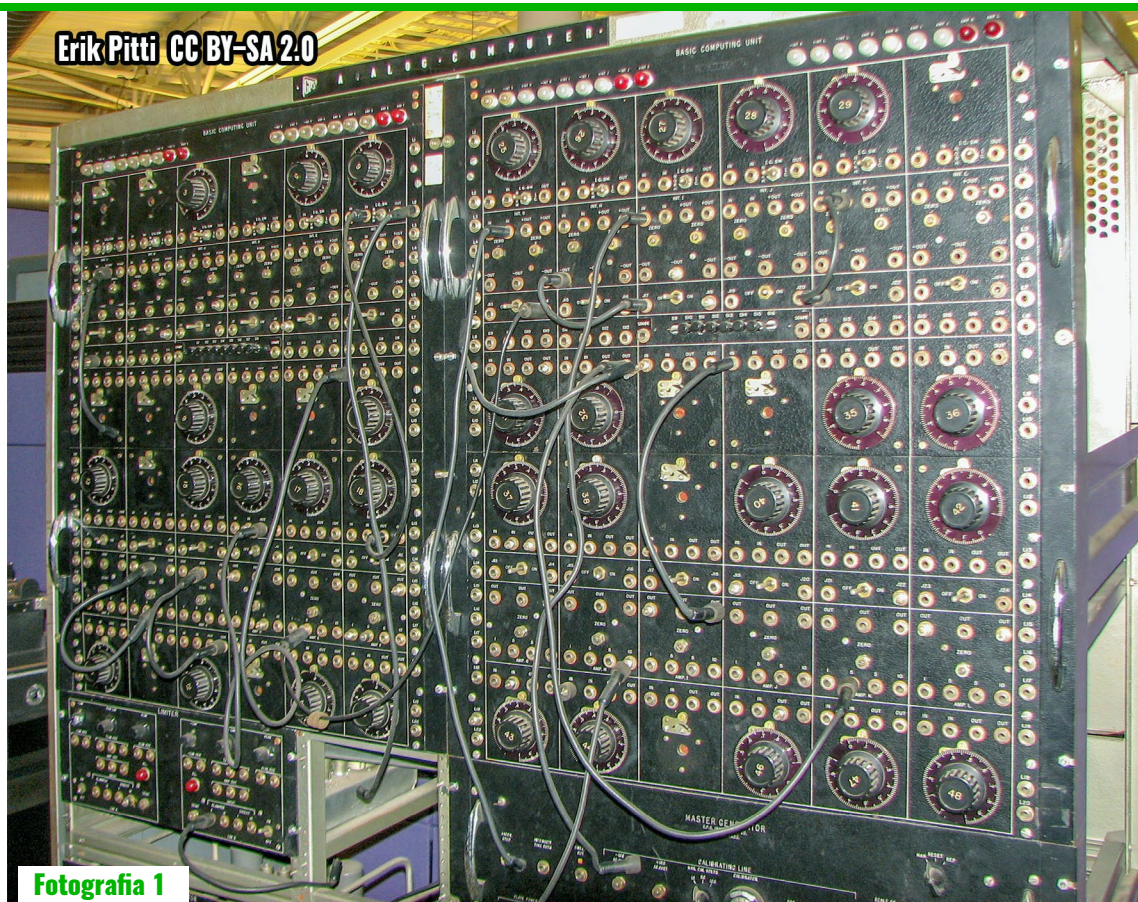
Zgodnie z wcześniejszą obietnicą pokażę teraz, jak hydrauliczna analogia wysokościowa jest znakomitą ilustracją i wytłumaczeniem, **czym w praktyce jest różniczkowanie oraz całkowanie**, a te pojęcia dla mnóstwa osób są dosłownie czarną magią. Elektronik nie musi być dobrym matematykiem czy fizykiem, ale bez zrozumienia sensu pojęcia pochodnej oraz różniczkowania i całkowania będzie miał kłopoty ze zrozumieniem „trudniejszej elektroniki”. Dlatego nie zlekceważ tego artykułu!

**Kondensator jest elementem przeprowadzającym matematyczną operację całkowania oraz różniczkowania!** I nie jest to pusta teoria! Dziś obliczenia matematyczne są realizowane przez komputery cyfrowe. Ale w dawnych komputerach analogowych, używanych w połowie XX wieku, właśnie „zwyczajne kondensatory” realizowały matematyczną operację różniczkowania. **Fotografia 1** oraz **fotografia tytułowa** pokazują wykorzystujące to komputery analogowe. Z kolei na **fotografii 2** widoczny jest prototyp polskiego analogowego komputera AKAT-1 o bardzo smutnej historii.

Tak, „kondensator potrafi całkować i różniczkować”, a raczej nie tyle potrafi, co zawsze jego praca jest jednocześnie i całkowaniem, i różniczkowaniem!

Czy to dziś jest ważne dla praktyka? Tak, choć do obliczeń nie wykorzystujemy takich sposobów całkowania i różniczkowania. Jest to też ogromnie ważne dla tych, którzy chcą rozumieć elektronikę. Dobrze rozumieć między innymi to, **dlaczego elementarnym, podstawowym, szczególnym, jedynym w swoim rodzaju, jest przebieg sinusoidalny?** Wła-

Szkolna praktyka potrafi obrzydzić matematykę, ale właśnie elektronika może to naprawić i pokazać, że matematyka jest piękna, a przynajmniej, że jest absolutnie niezbędna do wyjaśniania zjawisk, z jakimi mamy do czynienia. Nie tylko różniczki oraz całki (nieoznaczone i oznaczone) są zmorą wielu uczniów i studentów. Dla wielu podstawowym problemem



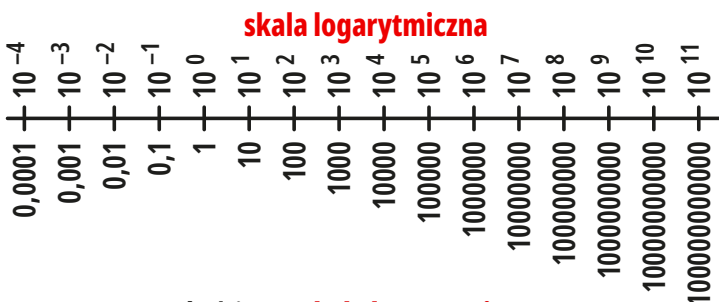
Fotografia 1



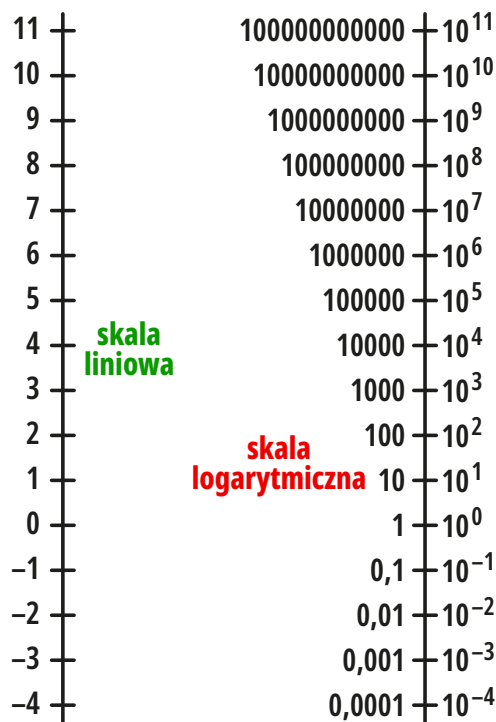
Fotografia 2

**Uwaga! To jest demonstracyjny (niepełny) egzemplarz czasopisma ZE. W pełnej wersji ten artykuł oczywiście ma więcej stron.**

„zwyczajna” **skala liniowa** jest dobra do wielu zastosowań, ale jest kłopot z jednoczesnym przedstawieniem bardzo dużych i bardzo małych liczb



na pozór dziwna **skala logarytmiczna** pozwala w prosty sposób przedstawić liczby dodatnie z bardzo szerokiego zakresu



## Szumy, zniekształcenia, zakłócenia i decybele (2)

To jest drugi artykuł cyklu, który w przystępny sposób przedstawia tytułowe niełatwe zagadnienia. Głównym tematem są szumy, ale poprzedni i ten artykuł są niezbędnym wprowadzeniem i dotyczą głównie wykorzystania miar logarytmicznych, w tym „najrozmaitszych odmian” decybeli.

**Decybel – przede wszystkim miara względna**  
**Czy decybel to też miara bezwzględna? dBV, dBu**  
**Inne „rodzaje decybeli”**

**„Decybele cyfrowe” dBFS**  
**Najprostsze rozumienie „parametrów cyfrowych”**

W zasadzie głównym tematem tej serii artykułów są zakłócenia, szumy i zniekształcenia występujące w układach elektronicznych, które wykorzystujemy do przetwarzania rozmaitych sygnałów użytecznych (czego przykładem są choćby wzmacniacze sygnałów audio). Jednak nieprzypadkowo zaczynam od czegoś innego. W poprzednim artykule serii zacząłem omawiać miarę logarytmiczną i decybele dlatego, że najprościej biorąc, te rozmaite „śmieci” (szumy zakłócenia i zniekształcenia) są, a raczej powinny być jak najmniejsze, nieporównanie mniejsze niż przetwarzany sygnał użyteczny. Charakteryzując te małe niepożądane składniki musielibyśmy

używać bardzo małych liczb – liczb zawierających wiele zer. Łatwo się pomylić, jeżeli liczba zawiera wiele zer. Sposobów usunięcia problemu jest kilka. Między innymi oprócz procentów wykorzystujemy pokrewne, tylko jeszcze mniejsze „pipiemy”, czyli milionowe części (ppm – parts per million), a nawet części miliardowe (ppb – parts per billion). Ale przede wszystkim wykorzystuje się miarę logarytmiczną, a konkretnie decybele. W poprzednim artykule serii pokazałem, że idea jest prosta, ale jest pewien kłopot z „decybelami mocy” i z „decybelami napięciowymi”. Są też inne ważne kwestie, które omawiam w niniejszym artykule.

## Decybel – przede wszystkim miara względna

Zasadniczo (bel i) **decybel to miara względna, która w zwięzły sposób pokazuje tylko stosunek dwóch wielkości**. Zasadniczo decybel pokazuje tylko **ile razy** coś jest do czegoś mniejsze lub większe.

Dlatego każdy elektronik powinien umieć przeliczać „razy na decybele” i na odwrót.

Pomocą będzie tabela pokazana na **rysunku 1**. Warto zwrócić uwagę, że korzyści ze stosowania decybeli dotyczą przede wszystkim bardzo dużych i bardzo małych liczb, bo zamiast licznych zer wykorzystujemy bardzo zwięzły zapis.

Na pewno trzeba zapamiętać, że dla napięć 20 decybeli to 10 razy, 40 dB to 100×, 60 dB to 1000× i tak dalej. Zmiana o 20 decybeli „napięciowych” to zawsze zmiana 10-krotna. Warto pamiętać, że zmiana o 6 decybeli „napięciowych” to zmiana w praktyce 2-krotna.

W elektronicznej praktyce często pojawia się wartość 3 dB. Warto mieć świadomość, że te 3 decybele to dość dużo, około 1,41×, czyli procentowo ponad 40%. Jeżeli jakaś wartość może mieć tolerancję ±3 dB, to procentowo jest to duża tolerancja od około 71% do 141% wartości nominalnej. Dotyczy to na przykład definiowania szerokości pasma oscyloskopów.

Także jeden decybel jest dość dużą jednostką. Jak widać, wzrost o 1 dB to wzrost o 12,2%. W elektronice często mierzymy ze zdecydowanie większą dokładnością.

Osoby, którym matematyka nie jest całkiem obca, mając stosunek na przykład dwóch napięć (ile razy są większe lub mniejsze), obliczą za pomocą kalkulatora ile to decybeli. Niezbędny jest kalkulator, powiedzmy, „naukowy”, a potem sprawa jest prosta. Wystarczy obliczyć logarytm i pomnożyć przez 20, według podstawowej zależności:

$X [\text{stosunek napięć w decybelach}] = 20 \lg (U_2 / U_1)$ . Przykładowo jeżeli mamy napięcie 101 V i napięcie 100 V, to ich stosunek wynosi 1,01, co w decybelach wynosi  $20 \lg (1,01)$  czyli +0,0864 dB, niecałe 0,1 dB.

A jeżeli mamy napięcie powiedzmy 12 mV oraz 24 V, to ich stosunek wynosi 0,0005, w decybelach  $20 \lg (0,0005)$  czyli -66 dB.

Równie łatwo jest przy przeliczaniu „decybeli na razy”, bo w kalkulatorach jest potrzebna do takich obliczeń funkcja potęgowa  $10^x$ . Otóż liczbę decybeli „napięciowych” trzeba podzielić przez 20 i tak uzyskana niewielka liczba to logarytm potrzebnego wyniku, więc trzeba wykorzystać operację odwrotną

| dB   | Stosunek amplitudy (napięcia, prądu) | Stosunek mocy          |
|------|--------------------------------------|------------------------|
| 120  | 1000000 (milion)                     | 1000000000000 (bilion) |
| 110  | 316227                               | 100000000000           |
| 100  | 100000                               | 10000000000            |
| 90   | 31623                                | 1000000000 (miliard)   |
| 80   | 10000                                | 100000000              |
| 70   | 3162                                 | 10000000               |
| 60   | 1000 (tysiąc)                        | 1000000 (milion)       |
| 50   | 316,2                                | 100000                 |
| 40   | 100                                  | 10000                  |
| 30   | 31,62                                | 1000 (tysiąc)          |
| 20   | 10                                   | 100                    |
| 10   | 3,162                                | 10                     |
| 6    | $1,995 \approx 2$                    | $3,981 \approx 4$      |
| 3    | $1,413 \approx \sqrt{2}$             | $1,995 \approx 2$      |
| 1    | 1,122                                | 1,259                  |
| 0 dB | 1                                    | 1                      |
| -1   | 0,891                                | 0,794                  |
| -3   | $0,708 \approx 1/\sqrt{2}$           | $0,501 \approx 1/2$    |
| -6   | $0,501 \approx 1/2$                  | $0,251 \approx 1/4$    |
| -10  | 0,3162                               | 0,1                    |
| -20  | 0,1                                  | 0,01                   |
| -30  | 0,03162                              | 0,001                  |
| -40  | (1%) 0,01                            | 0,0001                 |
| -50  | 0,003162                             | 0,00001                |
| -60  | 0,001                                | 0,000001               |
| -70  | 0,0003162                            | 0,0000001              |
| -80  | 0,0001                               | 0,00000001             |
| -90  | 0,00003162                           | 0,000000001            |
| -100 | 0,00001                              | 0,0000000001           |
| -110 | 0,000003162                          | 0,00000000001          |
| -120 | (1ppm) 0,000001                      | 0,000000000001         |

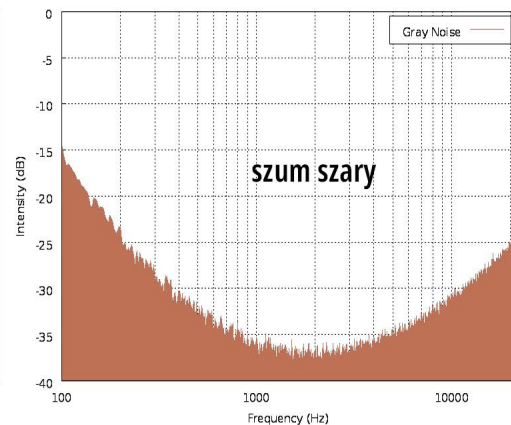
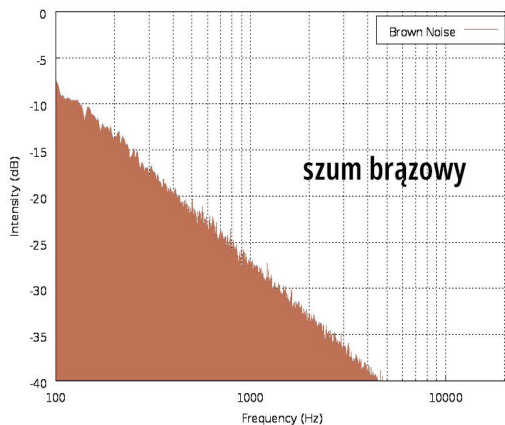
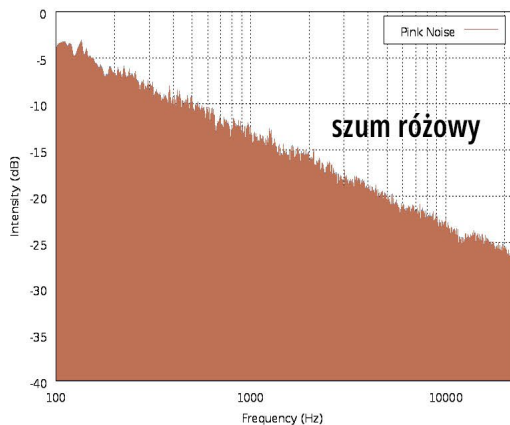
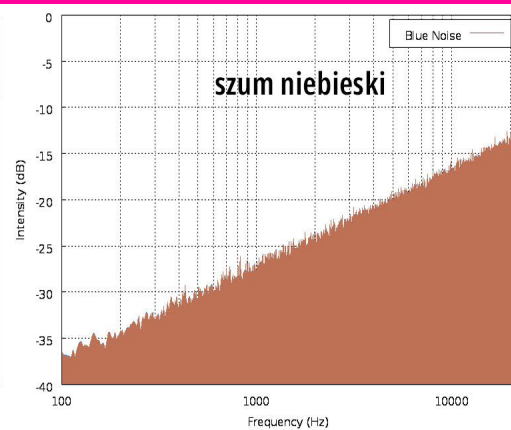
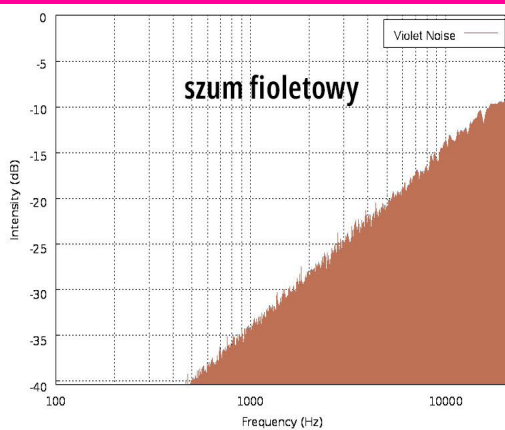
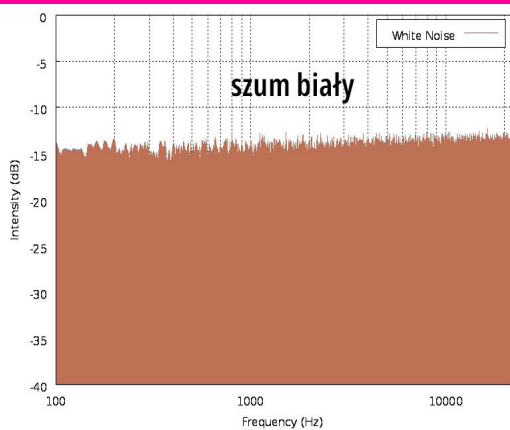
**Rysunek 1**

(5 / 20). Z pomocą funkcji  $10^x$  kalkulatora policzymy, że stosunek napięć wynosi około 1,78 „razy”.

Podobnie jeżeli mamy -33 decybele „napięciowe”, to logarytm ze stosunku napięć wynosi -1,65, a funkcja  $10^x$  szybko pokaże wynik „w razach” to około 0,0224, czyli tyle wynosi stosunek dwóch napięć.

Obliczenia z pomocą kalkulatora są naprawdę łatwe, tylko trzeba troszkę poćwiczyć. Gorąco zachęcam także Ciebie: poćwicz trochę i spróbuj za pomocą kalkulatora przeliczyć kilka wartości z tabeli! Zarówno obliczeń dotyczących mocy, ale szczególnie napięcia. I to „w obie strony”: z decybeli na „razy” i z „razów” na decybele. Chodzi o to, żeby nabrać trochę wprawy, żeby potem się nie mylić co do kolejności działań na kalkulatorze. Między innymi

**Uwaga! To jest demonstracyjny (niepełny) egzemplarz czasopisma ZE. W pełnej wersji ten artykuł oczywiście ma więcej stron.**



# Szumy, zniekształcenia, zakłócenia i decybele (3)

To jest trzeci artykuł cyklu, który w przystępny sposób przedstawia tytułowe niełatwe zagadnienia. Dwa poprzednie artykuły były niezbędnym wprowadzeniem i dotyczyły wykorzystania miar logarytmicznych, w tym „najrozmaitszych decybeli”. W tym artykule zaczynam omawiać ważny temat – szumy.

## Szumy (termiczne)

### Właściwości szumów termicznych

#### Gęstość mocy – szum biały

W poprzednich artykułach serii omówiłem miarę logarytmiczną i różne „odmiany” decybeli, w tym „decybele mocy” i „decybele napięciowe”. Trzeba pamiętać, że zasadniczo decybel to miara względna, ale przyjęcie poziomu odniesienia pozwala uzyskać rodzaj miary bezwzględnej (np. dBV). Dziś ważne są też „decybele cyfrowe”. Najprościej biorąc, **0 dBFS to jest maksymalny poziom nieznieskształconego sygnału cyfrowego**. Liczba bitów (przetwornika ADC lub toru cyfrowego) wyznacza teoretyczną dynamikę, czyli liczoną w decybelach różnicę między tym maksymalnym poziomem, a poziomem „śmieci” – różnych szumów i ewentualnie zniekształceń.

## Moc, napięcie i prąd szumów

### Ten straszny pierwiastek z herca...

#### Szumy cieplne rezystora (rezystancji)

## Szumy (termiczne)

Zgodnie z zapowiedzią, zaczynam omawiać ogromnie ważny, obszerny i niełatwy problem rozmaitych szumów. Przypominam, że w tej serii artykułów określenie **szumy** oznacza, najprościej biorąc, **szumy własne** mające źródło w układzie elektronicznym, natomiast określenie **zakłócenia** dotyczy tu „obcych” sygnałów przychodzących z zewnątrz, choć w angielskojęzycznej literaturze określenie *noise* obejmuje i szumy *wewnętrzne*, i zakłócenia *zewnętrzne*. Temat zakłóceń to oddzielne zagadnienie, a teraz chcemy zająć się tylko szumami. Problem w tym, że znamy różne rodzaje szumów „własnych”,

niektóre są zbadane gorzej, inne lepiej. W elektronice wiele zagadnień zgadza się z intuicją, ale w przypadku szumów jest kilka ważnych szczegółów, które zdecydowanie wymykają się intuicji. Oczywiście zawsze pozostaje podejście matematyczne, ale nie wszyscy chcą zagłębiać się w szczegółowe analizy i wyprowadzenia wzorów. A wtedy pewne twierdzenia trzeba po prostu przyjąć na wiarę, zaakceptować, a potem jeszcze budować na nich dalsze rozumowanie i wnioski.

**To nie jest materiał dla zupełnie początkujących!** Temat szumów ma kilka skomplikowanych aspektów i łatwo zagubić się w szczegółach. Ale trzeba jakoś zacząć. Stosunkowo łatwy do zrozumienia jest problem **szumów termicznych**, który jest punktem wyjścia do zgłębiania innych aspektów kwestii szumów. I właśnie od nich zaczniemy.

Otóż najprościej biorąc, **każdy rezystor, a raczej każda rezystancja, jest miniaturową elektrownią prądu przemiennego!** Tak! Każdy realny rezystor w temperaturze wyższej od zera bezwzględnej **jest źródłem napięcia i prądu przemiennego, czyli też źródłem energii.** Ilustruje to w największym uproszczeniu **rysunek 1**. Nie jest to napięcie i prąd przemienny o jednej określonej częstotliwości, tylko mieszanka sygnałów zmiennych o przypadkowych, malutkich amplitudach i, co ważne, o przypadkowych częstotliwościach, ale z bardzo szerokiego zakresu częstotliwości, od bardzo małych, od ułamka herca do wielu gigaherców.

Ale dlaczego zwyczajny rezystor, będący elementem biernym, okazuje się rodzajem „malutkiej baterijki” wytwarzającej przebiegi zmienne?

W elektronice, i nie tylko, **najważniejsza jest energia.** Są różne rodzaje, odmiany energii, a jedną z nich jest energia termiczna (cieplna), związana z chaotycznym ruchem, czy raczej z **chaotycznymi drganiami cząsteczek materii.** Zasadniczo jest to mechaniczna energia drgań, ale obejmuje też drgania składników obdarzonych ładunkiem elektrycznych. A najprościej biorąc, **rozdzielanie ładunków to powstawanie pola elektrycznego i napięcia elektrycznego, natomiast ruch ładunków to przecież prąd elektryczny i nierozłącznie z nim związane pole magnetyczne.** A to oznacza, że w materiałach przewodzących, chaotyczne drgania wynikające z energii termicznej powodują powstawanie „chaotycznych” napięć i prądów – szumów termicznych. Mechaniczne chaotyczne drgania w materiałach następują w trzech wymiarach przestrzennych, ale my powstające napięcia i prądy mierzymy jako wielkości bezkierunkowe, skalarnie. Po

## Właściwości szumów termicznych

Omawiane „chaotyczne” **napięcia i prądy termiczne związane są z energią cieplną, ale, co ważne, NIE zależą od sumarycznej ilości energii cieplnej.** To ważne – rezystor o bardzo dużych rozmiarach zawiera więcej energii cieplnej niż rezystor miniaturowy, ale nie wytwarza większej ilości szumów termicznych niż rezystor miniaturowy.

Wielkość, a ściślej **moc szumów termicznych zależy od temperatury, która jest miarą średniej energii kinetycznej drgań cząsteczek.** Czym wyższa temperatura, tym większa energia kinetyczna drgających cząstek i tym większe są napięcia i prądy szumów cieplnych (w temperaturze zera absolutnego szumy termiczne maleją do zera).

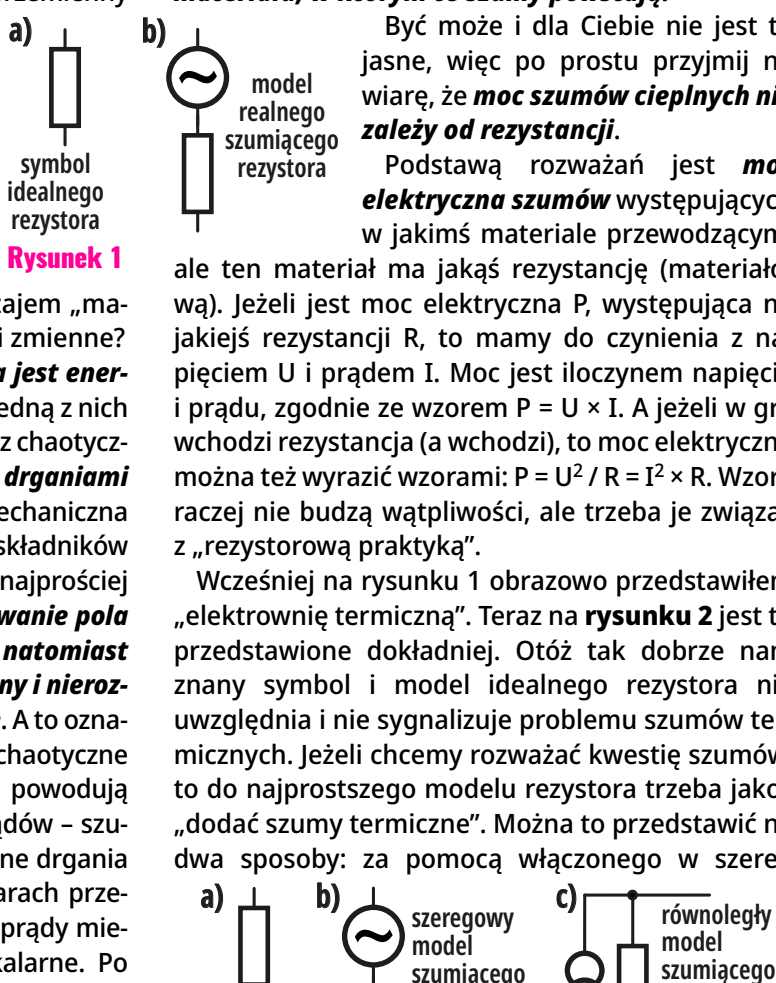
Tu koniecznie trzeba wrócić do kwestii, czym miałyby być ta „ilość” czy „wielkość” szumów termicznych? Otóż możemy mierzyć napięcia i prądy szumów, ale „ilość”, „wielkość” szumów to przede wszystkim **moc szumów.** To łatwo zaakceptować, ale nie jest oczywisty inny, bardzo ważny szczegół: **moc szumów termicznych nie zależy od rezystancji materiału, w którym te szumy powstają!**

Być może i dla Ciebie nie jest to jasne, więc po prostu przyjmij na wiarę, że **moc szumów cieplnych nie zależy od rezystancji.**

Podstawą rozważań jest **moc elektryczna szumów** występujących w jakimś materiale przewodzącym,

ale ten materiał ma jakąś rezystancję (materiałową). Jeżeli jest moc elektryczna  $P$ , występująca na jakiejś rezystancji  $R$ , to mamy do czynienia z napięciem  $U$  i prądem  $I$ . Moc jest iloczynem napięcia i prądu, zgodnie ze wzorem  $P = U \times I$ . A jeżeli w grę wchodzi rezystancja (a wchodzi), to moc elektryczną można też wyrazić wzorami:  $P = U^2 / R = I^2 \times R$ . Wzory raczej nie budzą wątpliwości, ale trzeba je związać z „rezystorową praktyką”.

Wcześniej na rysunku 1 obrazowo przedstawiłem „elektrownię termiczną”. Teraz na **rysunku 2** jest to przedstawione dokładniej. Otóż tak dobrze nam znany symbol i model idealnego rezystora nie uwzględnia i nie sygnalizuje problemu szumów termicznych. Jeżeli chcemy rozważać kwestię szumów, to do najprostszego modelu rezystora trzeba jakoś „dodać szumy termiczne”. Można to przedstawić na dwa sposoby: za pomocą włączonego w szereg



**Uwaga! To jest demonstracyjny (niepełny) egzemplarz czasopisma ZE. W pełnej wersji ten artykuł oczywiście ma więcej stron.**



# Płyty czołowe do obudów Kradex i Maszczyk, część 2

W poprzednim artykule poznaliśmy możliwość importu płyt czołowych wybranych obudów do programu Bambu Studio i programów CAD. Chcemy zaprojektować płytę czołową do prostego zasilacza warsztatowego w obudowie Z17W. Zanim przystąpimy do projektu płyty, zaprojektujemy skalę do potencjometru obrotowego.

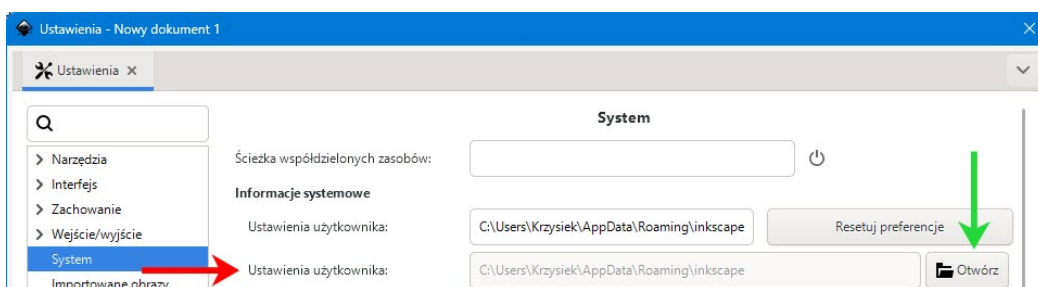
Wtyczka do Inkscape  
Projekt skali  
Kosmetyka

Zmiana tekstu na krzywe  
Podsumowanie

## Wtyczka do Inkscape

Do zaprojektowania skali potencjometru obrotowego wykorzystamy darmowy program Inkscape oraz wtyczkę o nazwie **Knob Scale Generator** (knob – pokrętło), którą można pobrać z linku <https://github.com/leechwort/knob-scale-generator>. Wtyczkę pobieramy jako archiwum ZIP klikając zielony przycisk Code z powyższego linku. W programie Inkscape wybieramy menu Edycja → Ustawienia, a w otwartym

oknie ustawień pozycję **System** i pobrane archiwum rozpakowujemy do folderu rozszerzeń użytkownika, jak widać na **rysunku 12**. Folder ten otwieramy klikając przycisk **Otwórz**.



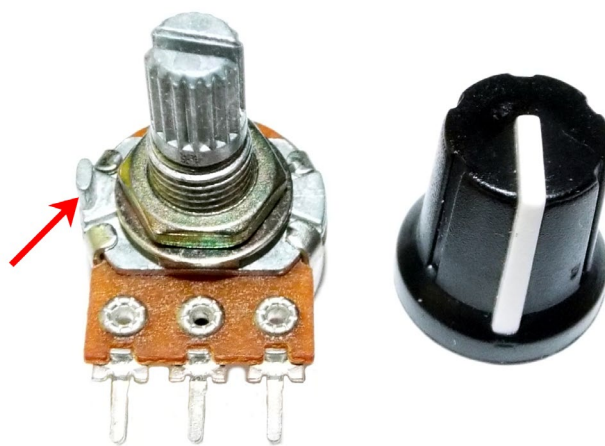
Rysunek 12

Po zatwierdzeniu zmian i restarcie programu Inkscape, wtyczka ta dostępna jest u mnie w menu Efekty → Renderowanie → Knob Scale... Interfejs tej wtyczki jest mieszany polsko- i angielskojęzyczny. Jeśli ktoś chce może sobie w pełni spolonizować wtyczkę odpowiednio edytując plik **render\_knob\_scale.inx** w darmowym programie Notepad++.

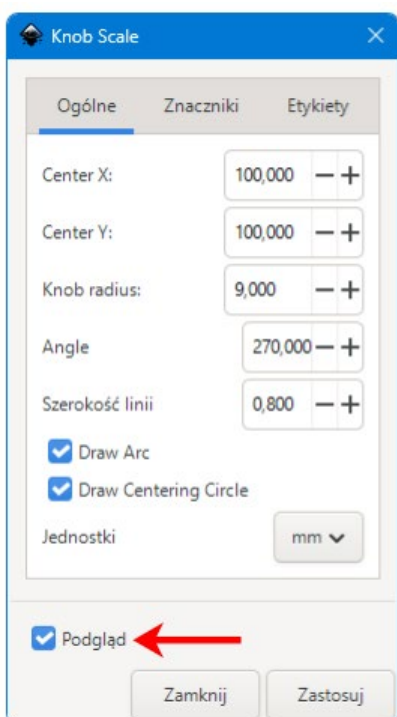
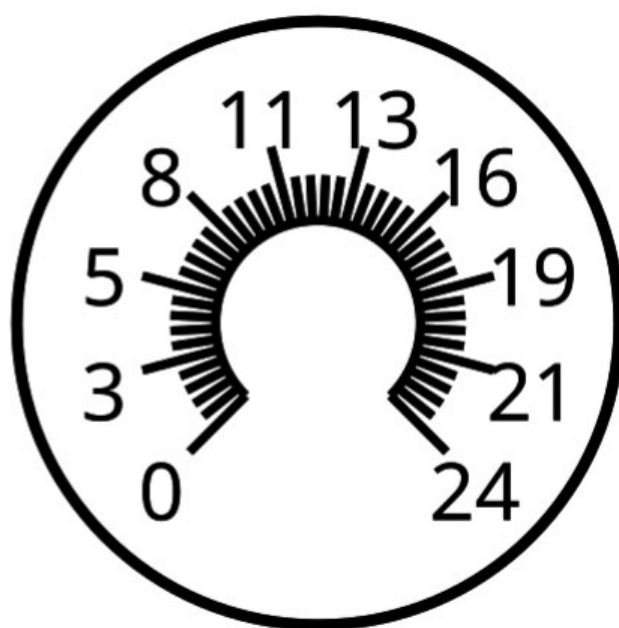
## Projekt skali

Projekt skali utworzymy dla typowego potencjometru obrotowego i gałki widocznej na **fotografii 13**. Po uruchomieniu wtyczki Knob Scale Generator mamy sytuację podobną jak na **rysunku 14**. Warto zaznaczyć pole **Podgląd** z rysunku 14, dzięki czemu będziemy mieli na bieżąco podgląd wprowadzonych parametrów i zmian w projektowanej skali. Przy pierwszym uruchomieniu generatora skali jego okno zawiera domyślne parametry. Dlatego też podgląd skali może się różnić od tego z rysunku 14.

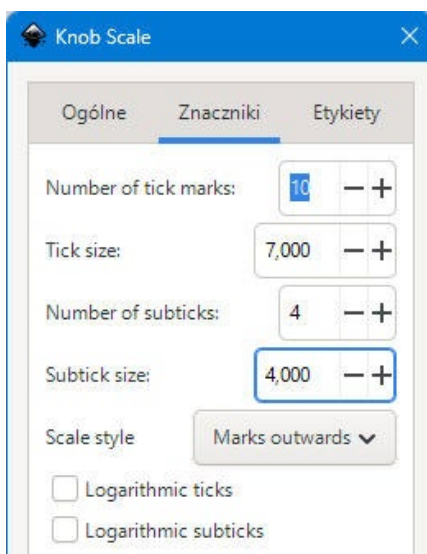
Pierwsza zakładka wtyczki Knob Scale – **Ogólne**, definiuje następujące parametry: **Center X** i **Center Y** to współrzędne projektowanej skali na planszy projektowej Inkscape. Parametry te ustawiłem u siebie na 100,0 mm dla każdej z osi. **Knob radius** to promień pokręta potencjometru. Parametr ten definiuje widoczny na rysunku 14 łuk tworzący skalę potencjometru. Pokręto z rysunku 13 w dolnej części ma średnicę około 16,0 mm. Postanowiłem wartość tego promienia ustawić na 9,0 mm, co odsunie wi-



Fotografia 13



Rysunek 14



Rysunek 15

**Angle** to kąt obrotu potencjometru, który najczęściej wynosi 270° kątowych. Parametr **Szerokość linii** definiuje szerokość linii tworzących skalę potencjometru. Wartość tę ustawiłem u siebie na 0,8 mm. Znacznik **Draw Arc** włącza rysowanie łuku wewnątrz skali. Natomiast znacznik **Draw Centering Circle** włącza rysowanie zewnętrznego okręgu.

Po przejściu do zakładki **Znaczniki**, widocznej na **rysunku 15**, mamy parametr **Number of tick marks**, który definiuje ilość dłuższych znaczników skali. Wartość tę

**Uwaga! To jest demonstracyjny (niepełny) egzemplarz czasopisma ZE. W pełnej wersji ten artykuł oczywiście ma więcej stron.**

# **Z**ROZUMIEĆ **E**LEKTRONIKĘ z Piotrem Góreckim

**ZE 11/2026**

**piotr-gorecki.pl**



**Wydawca: Zrozumieć Elektronikę sp. z o.o. ul. Nadarzyn 23A 05-230 Kobyłka**

**Redaktor Naczelny: Piotr Górecki**

**e-mail: [kontakt@piotr-gorecki.pl](mailto:kontakt@piotr-gorecki.pl)**

**Redakcja techniczna: Ewa Górecka-Dudzik ([ewa@piotr-gorecki.pl](mailto:ewa@piotr-gorecki.pl))**

**Stali współpracownicy: Andrzej Pawluczuk, Tadeusz Suszał, Karol Świerc,  
Mateusz Ostrycharz, Paweł Pawłowicz, Rafał Kozik, Szymon Burian, Jacek Kosecki**

**Inicjatywa Zrozumieć Elektronikę realizowana jest  
dzięki wsparciu Patronów i Mecenasów poprzez  
konto autorskie Patronite: <https://patronite.pl/Zrozumiec-Elektronike>**

**Uwaga! Ani autorzy artykułów, ani wydawca nie biorą odpowiedzialności za ewentualne szkody  
będące wynikiem eksperymentów inspirowanych treścią czasopisma i strony internetowej.**

**Osoby, które chciałyby przeprowadzić eksperymenty związane z treścią artykułów  
powinny mieć odpowiednie kwalifikacje BHP dotyczące elektryczności oraz świadomość ryzyka.**

**Osoby niepełnoletnie i niedoświadczone mogą przeprowadzić takie działania  
jedynie pod opieką wykwalifikowanych opiekunów, np. nauczycieli.**

**Projekty przedstawiane w czasopiśmie mogą być wykorzystane jedynie do własnych potrzeb,  
a ich wykorzystanie do innych celów, zwłaszcza zarobkowych, wymaga zgody Autora.**

**Wszystkie materiały zamieszczane w czasopiśmie są własnością ich twórców,  
więc przedruk czy umieszczenie na stronach internetowych wymaga pisemnej zgody Autora.**