

# Elektronika dla juniora (i seniora), czyli elektroniczne przedszkole

## Spotkanie 10: Najprostsze zasilacze

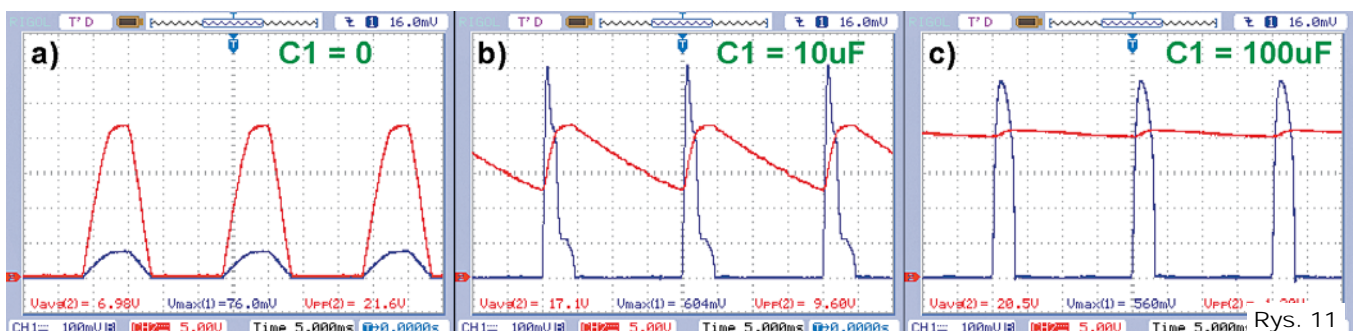
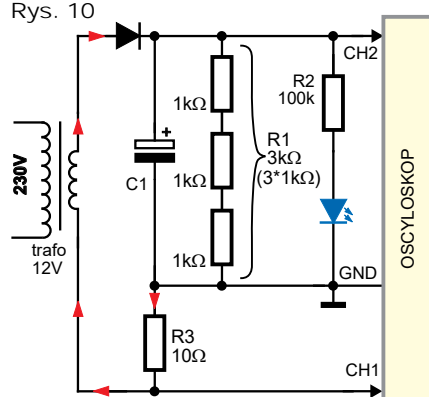
W EdW 1/2016, w związku z jubileuszem 20-lecia czasopisma, rozpoczęliśmy elementarny kurs podstaw elektroniki dla najmłodszych i starszych, którzy chcieliby przypomnieć sobie podstawy. Założeniem jest, że młodzieńki

„uczeń” nie zostanie pozostawiony sam sobie, bo proponowane ćwiczenia ma wykonywać z kimś choć trochę starszym i doświadczonym. Oprócz rodziców może to być starsze rodzeństwo albo ktoś z rodziny lub przyjaciół.

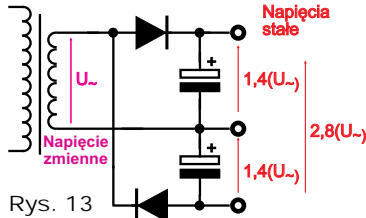
W poprzedniej części omówiliśmy transformatory i prostowniki. Dodając za prostownikiem z rysunku 6 odpowiednio duży kondensator filtrujący, otrzymamy stałe napięcie wyjściowe z niewielkimi tętnieniami. Ja wykorzystałem posiadany zasilacz AC12, który jest zwyczajnym transformatorem o nominalnym napięciu wtórnym 12V. Zbudowałem układ według **rysunku 10**. R1 (3k $\Omega$ ) jest głównym rezystorem obciążenia. Niebieska kontrolka LED, zasilana przez rezystor R2 = 100k $\Omega$ , jest dodatkowym znikomym obciążeniem. Dodałem też rezystor R3 o niewielkiej wartości 10 $\Omega$ , by posłużył do pomiaru prądu pobieranego z transformatora ( $I = U_3/10\Omega$ ). **Rysunek 11a** pokazuje przebiegi pulsującego napięcia wyjściowego (CH2) i (jednokierunkowego) prądu transformatora (CH1) bez kondensatora filtru-

jącego C1 – porównaj rysunek 6. Czerwone przebiegi i napisy dotyczą napięcia wyjściowego, a przebiegi i napisy niebieskie – napięcia z rezystora R3, czyli prądu pobieranego z transformatora. Jak świadczą napisy na rysunku 11a, średnie napięcie ( $V_{avg}$  – average) pulsującego przebiegu wyjściowego wynosi tylko 6,98V – mniej więcej tyle pokazały woltomierz napięcia stałego podłączony do wyjścia. Natomiast międzyszczytowe napięcie wyjściowe ( $V_{pp}$ ) wynosi aż 21,6V – to amplituda wyprostowanego przebiegu. Napięcie szczytowe na 10-omowym rezystorze R3 ( $V_{max}$ ) wynosi 76mV, czyli prąd w szczytach osiąga około 7,6mA. Natomiast na **rysunkach 11b, 11c** masz analogiczne przebiegi z kondensatorem

filtrującym C1 o różnych wartościach. Dodanie niewielkiego kondensatora filtrującego zwiększyło średnie napięcie do 17,1V, ale tętnienia są duże 9,6Vpp. Prąd pobierany z transformatora nie przypomina już połówek sinusoidy, tylko ma postać wąskich impulsów o amplitudzie aż 60,4mA (604mV/10 $\Omega$ ). Jak pokazuje rysunek 11c, przy znacznie większej pojemności filtra (100 $\mu$ F) otrzymujemy na obciążeniu napięcie stałe o wartości aż 20,5V z niezbyt dużymi tętnieniami 1,2Vpp. Prąd w uzwojeniu wtórnym transformatora ma wtedy postać krótkich impulsów. Właśnie taki impulsowy pobór prądu przez zasilacze powoduje, że wierzchołki sinusoidy w sieci 230V są spłaszczone (porównaj rysunek 8 w poprzednim



odcinku w EdW). A oto inne ważne szczegóły: w eksperymencie wykorzystalem transformator o napięciu nominalnym 12VAC, a tymczasem na wyjściu otrzymaliśmy aż 20,5V! Dzięki obecności kondensatora filtrującego, *stałe* napięcie wyjściowe jest większe od napięcia *zmiennego* transformatora.

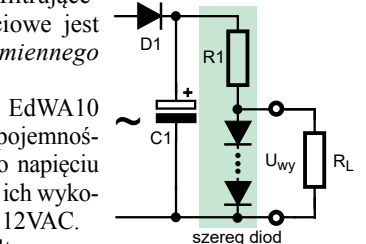


Rys. 13

**Uwaga:** w zestawie EdWA10 mamy kondensatory o pojemnościach 1000uF i 10000uF o napięciu tylko 16V, więc nie można ich wykorzystywać z transformatorem 12VAC.

Transformator 12-woltowy ma na uzwojeniu wtórnym napięcie 12VAC, ale jest to *wartość skuteczna sinusoidalnego napięcia zmiennego* przy nominalnym obciążeniu uzwojenia wtórnego rezystancją, a nie prostownikiem. **Fotografia 12** pokazuje, że podczas testu według rysunku 11c mój „12-woltowy” transformator ma napięcie wyjściowe nie 12V, tylko ponad 16V – projektant uwzględnił straty, zilustrowane na rysunku 4b, 4c, dlatego przy mniejszym obciążeniu napięcie wtórne jest wyższe od nominalnego. Natomiast na wyjściu i obciążeniu mamy wartość szczytową dodatniego przebiegu zmiennego z transformatora, pomniejszoną o napięcie przewodzenia diody ( $U_F$ ). Amplituda przebiegu sinusoidalnego jest pierwiastek z dwóch razy większa od wartości skutecznej, więc stałe napięcie wyjściowe powinno wynosić  $U_{DC} = U_{AC} * 1,41 - U_F$ . Wbrew pozorom, dokładne obliczenia napięć i prądów pod obciążeniem w takim prostym zasilaczu są trudne, choćby tylko z uwagi na zdeformowane przebiegi i na straty w szkodliwych rezystancjach transformatora (rysunek 4b, 4c).

W układzie z **rysunku 13** na wyjściu uzyskamy napięcie stałe zbliżone do wartości międzyszczytowej przebiegu zmiennego, czyli prawie trzy razy większe niż wartość skuteczna napięcia zmiennego z transformatora.



Rys. 14

mi ładującymi,  $\Delta U$  – międzyszczytowa amplituda tętnień. Przykładowo dla sytuacji z rysunków 10, 11c, gdzie prąd obciążenia wynosi około 7mA, a tętnienia nie powinny przekroczyć 1,2Vpp, obliczymy minimalną pojemność filtrującą:

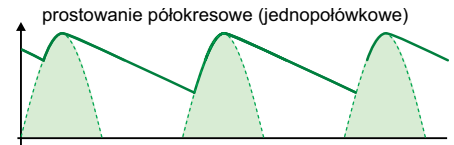
$$C = 0,007mA * 0,02s / 1,2V$$

$$C = 0,000117F = 117uF$$

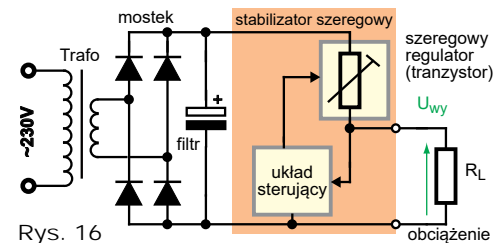
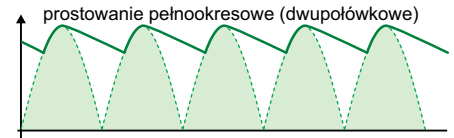
Rysunek 11c pokazuje, że takie tętnienia uzyskaliśmy przy pojemności 100uF, więc te prościutkie obliczenia dobrze zgadzają się z rzeczywistością.

Przy prostowaniu pełnokresowym (dwupołówkowym) impulsy ładujące kondensator mają podwójną częstotliwość – **rysunek 14**; w przypadku sieci 50Hz (o okresie 20ms) impulsy występują nie co 20ms, tylko co 10 milisekund, więc tętnienia przy danej pojemności filtru będą około dwukrotnie mniejsze. Także gdy częstotliwość prostowanego przebiegu jest większa, wystarczy mniejsza pojemność filtrująca. W coraz powszechniej stosowanych zasilaczach impulsowo-

Aby napięcie wyjściowe było „gładkie”, z małymi tętnieniami, pojemność filtrująca powinna być odpowiednio duża, stosowna do prądu obciążenia. Aby dobrać odpowiednią pojemność kondensatora filtrującego, można skorzystać z podstawowej zależności, dotyczącej kondensatora  $I = C * \Delta U / \Delta t$ . Wykorzystujemy przekształconą postać  $C = I * \Delta t / \Delta U$  gdzie: I – prąd obciążenia,  $\Delta t$  czas między impulsami



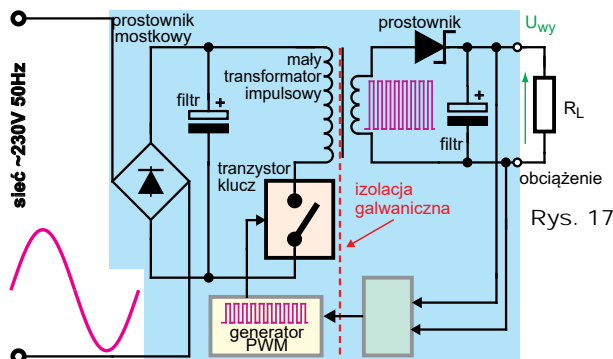
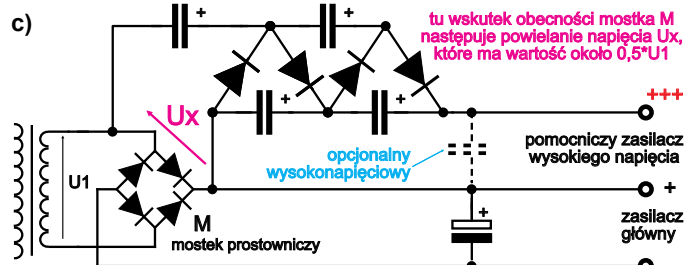
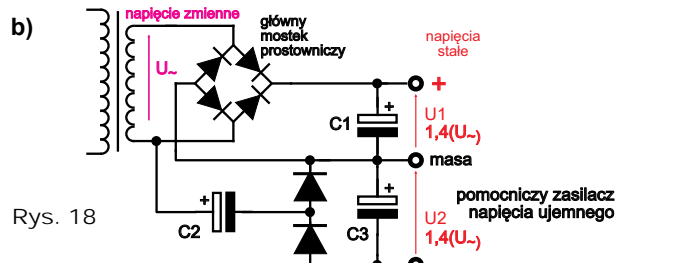
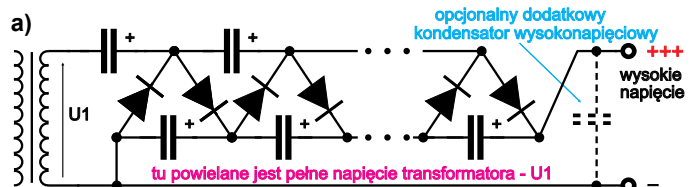
Rys. 14



Rys. 16

wych częstotliwość prostowanego przebiegu wynosi dziesiątki, a nawet setki tysięcy herców. Dzięki temu można stosować zaskakująco małe kondensatory filtrujące (a także małe transformatory impulsowe).

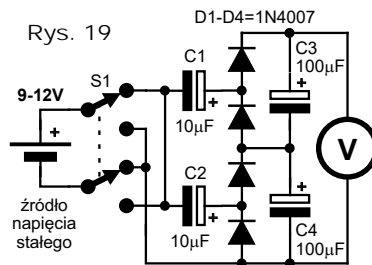
W praktyce omawiane klasyczne zasilacze transformatorowe dodatkowo mają układ stabilizujący napięcie. Bodaj najprostszy **stabilizator równoległy** można byłoby zbudować według idei z **rysunku 15** – jak wiesz, napięcie przewodzenia diod niewiele zależy od płynącego prądu. Jednak stabilizacja jest mocno niedoskonała, a ogromną wadą są duże straty w rezystorze



Rys. 17

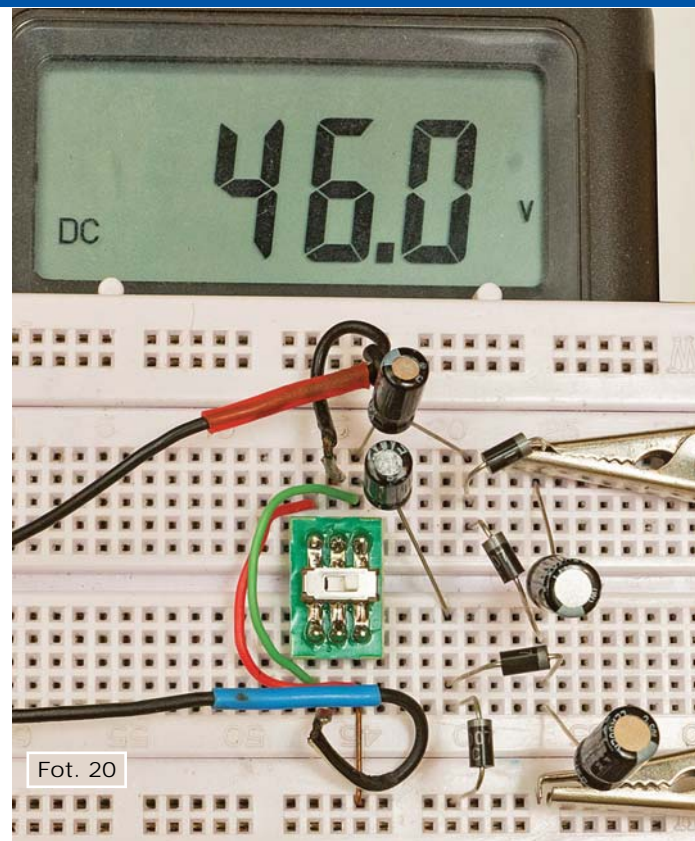
R1 i diodach. Lepsze są tzw. stabilizatory szeregowo, gdzie stabilizacja napięcia na elemencie szeregowym o sterowanej rezystancji, co jednak też wiąże się z dodatkowymi stratami i grzaniem elementu szeregowego. **Rysunek 16** pokazuje schemat blokowy klasycznego zasilacza.

W nowoczesnych przetwornicach impulsowych jest inaczej. Nie ma tam na wyjściu dodatkowego stabilizatora. Do regulacji napięcia wyjściowego stosowane są różne rozwiązania, ale bodaj najczęściej stosuje się tzw. modulację PWM (Pulse Width Modulation), polegającą na zmianie szerokości impulsu. **Rysunek 17** pokazuje przykładowy schemat blokowy zasilacza impulsowego. Układ elektroniczny sprawdza wartość napięcia wyjściowego i odpowiednio dopasowuje wypełnienie impulsów dużej częstotliwości, które na krócej lub dłużej otwierają klucz ( tranzystor). Pomimo skomplikowania, zasilacze impulsowe są obecnie tańsze od klasycznych. Mają też mniejsze straty. Zaprojektowanie zasilacza impulsowego to trudna sprawa. My na koniec zajmiemy się czymś prostszym.



Na **rysunku 18** masz przykładowe schematy kilku powielaczy napięcia – zasady ich działania omawialiśmy na spotkaniu 6. Zrealizujemy jeszcze prościutką „ręczną” przetwornicę według **rysunku 19**. Przełączając kilkakrotnie S1, można uzyskać napięcie niemal czterokrotnie większe niż stałe napięcie zasilania, co dla napięcia zasilającego 12V pokazuje **fotografia 20**.

Piotr Górecki



Fot. 20