

Elektronika dla juniora (i seniora), czyli elektroniczne przedszkole

Spotkanie 9: Transformatory i prostowniki

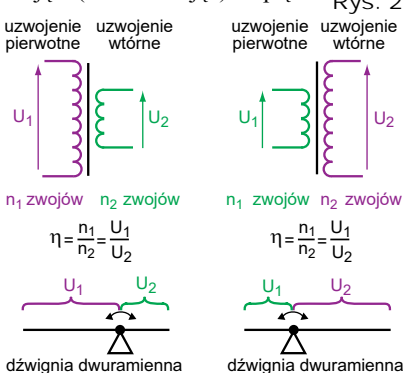
W EdW 1/2016, w związku z jubileuszem 20-lecia czasopisma, rozpoczęliśmy elementarny kurs podstaw elektroniki dla najmłodszych i starszych, którzy chcieliby przypomnieć sobie podstawy. Założeniem jest, że młodzieńki

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

W domowym gniazdku sieci energetycznej mamy napięcie sinusoidalnie zmienne 50Hz o śmiertelnie groźnej wartości skutecznej 230V. Napięcia bezpieczne uzyskamy, stosując transformator obniżający. Transformatory (nazywane w skrócie *trafo*) są stosowane nie tylko w obwodach sieci, ale też w urządzeniach audio, gdzie pracują w zakresie częstotliwości akustycznych (od 20Hz do 20kHz) oraz w technice komputerowej, gdzie przenoszą impulsy o częstotliwościach nawet milionów herców. **Fotografia 1** pokazuje kilka różnych transformatorów.

Transformator to przede wszystkim dwa uzwojenia, prawie zawsze nawijane na jakimś rdzeniu. Na razie nie będziemy zajmować się kwestią indukcyjności uzwojeń. Najważniejszy jest teraz fakt, że napięcia na uzwojeniach transformatora są proporcjonalne do liczby zwojów. Kluczowym parametrem transformatora jest oznaczana małą grecką literką eta (η) **przekładnia**, czyli stosunek liczby zwojów uzwojeń – w podręcznikach znajdziesz wzór $\eta = n_1/n_2 = U_1/U_2$. Transformator pozwala podwyższać i obniżać napięcia zmienne i jest elementem „odwracalnym”, „dwukierunkowym”. Działa na zasadzie podobnej jak dźwignia dwuramienna według **rysunku 2**.

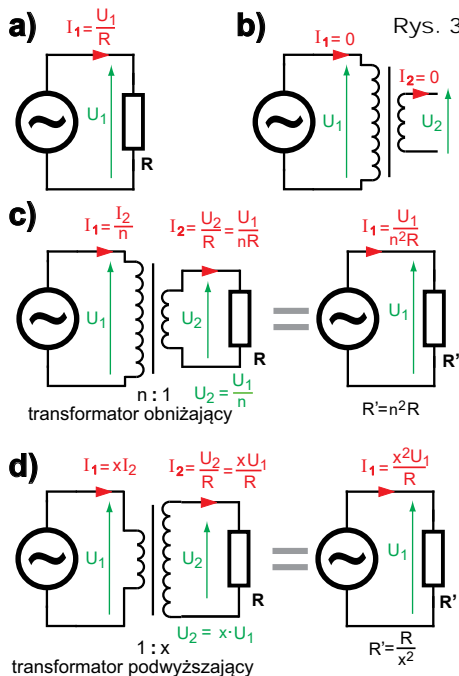
Najogólniej biorąc idealny, czyli bezstratny, transformator przekazuje całą dostarczoną moc „na drugą stronę”, zamieniając (transformując) napię-



cia i prądy zmienne stosownie do liczby zwojów obu uzwojeń. W idealnym, bezstratnym transformatorze prawdziwa jest zależność: ($P_1 = U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 = P_2$). Jeżeli moce pierwotna i wtórna są równe, a napięcie wtórne jest wyższe od pierwotnego, to podczas pracy prąd wtórny musi być odpowiednio mniejszy od pierwotnego, co wyraża zależność dotycząca prądów: $n_1/n_2 = U_1/U_2 = \eta = I_2/I_1$.

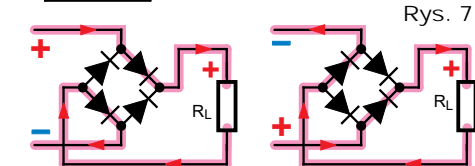
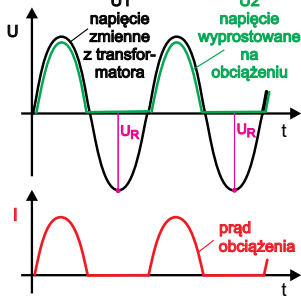
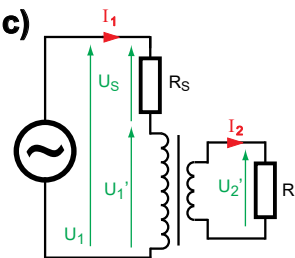
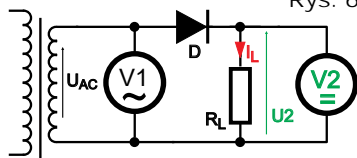
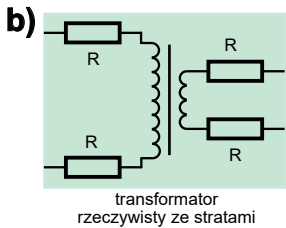
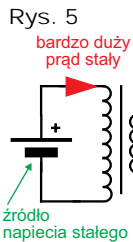
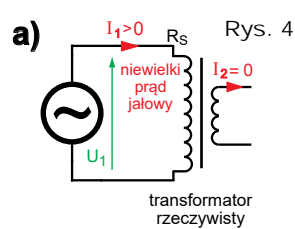
A jak duża jest ta „cała dostarczona moc” oraz napięcia i prądy?

Otóż zasada jest bardzo podobna jak przy obciążeniu rezystancją źródła napięcia zmiennego według **rysunku 3a**: o prądzie i mocy decyduje rezystancja obciążenia R. Na obciążeniu występuje napięcie źródła U_1 , prąd I_1 wyznaczony jest przez rezystancję obciążenia ($I = U/R$), a moc



$P = U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$. Włączenie transformatora między źródło a obciążenie powoduje *transformację*, czyli *przekształcenie* wartości napięć, a także prądów oraz transformację rezystancji. Na uzwojenie pierwotne podane jest napięcie U_1 . Transformator zamieni je na napięcie U_2 stosownie do liczby zwojów uzwojeń (przekładni): $U_2 = U_1/\eta$. Jeżeli według **rysunku 3b** uzwojenie wtórne, wyjściowe, nie zostanie obciążone (stan jałowy transformatora), to w transformatorze idealnym równy zero będzie zarówno prąd wtórny I_2 , jak też prąd pierwotny I_1 . A to oznacza, że źródło zostanie obciążone rezystancją... nieskończenie wielką ($R = U/I$). Można powiedzieć, że źródło zasilania widzi sam nieobciążony transformator (idealny) jako nieskończenie wielką rezystancję (przerwę).

A co źródło napięcia „widzi”, gdy na wyjściu transformatora dołączymy rezystancję R? Otóż źródło zostanie obciążone jakąś „przetransformowaną rezystancją zastępczą” o wartości $R' = U_1/I_1$. Aby obliczyć $R' = U_1/I_1$, zaczniemy od końca: ze wzoru $U_1/U_2 = I_2/I_1 = \eta$ wynika, że $I_1 = I_2/\eta$ i że $U_2 = U_1/\eta$, więc przez rezystancję obciążenia R popłynie prąd $I_2 = U_2/R = U_1/\eta R$. Po podstawieniu i przekształceniu wzoru otrzymamy: $R' = R \cdot \eta^2$. Obliczenia pokazują, że źródło napięcia „widzi rezystancję R przez transformator”, nie o wartości R, tylko **przetransformowaną ze współczynnikiem η^2** (potocznie mówimy, że z **kwadratem przekładni**).



Przykłady na **rysunkach 3c i 3d**. Dotyczy to wszelkich transformatorów, ale w praktyce elektronik z tą zależnością ma do czynienia w transformatorach głośnikowych we wzmacniaczach lampowych i liniach radiowęzłowych.

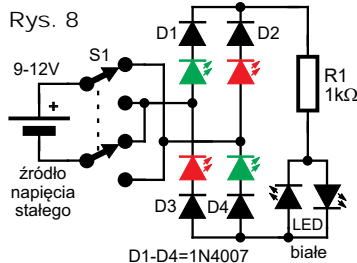
Transformator, zależnie od budowy, pełni swoją funkcję tylko w przypadku przebiegów zmiennych o odpowiedniej częstotliwości (nie za duża, nie za mała, stosowna do konstrukcji i materiałów) i nie za wysokim napięciu. Wcześniej badaliśmy wady kondensatorów. Nie będziemy praktycznie sprawdzać niedoskonałości *rzeczywistych* transformatorów. Przyjmij na wiarę, że przy braku obciążenia według **rysunku 3b** przez uzwojenie pierwotne płynie mały prąd,

zwany prądem jałowym – **rysunek 4a**. Co jeszcze ważniejsze, nawet w prawidłowych warunkach pracy część energii przenoszonej przez rzeczywisty transformator jest tracona w postaci strat ciepłych w obu uzwojeniach (w miedzi) i strat w rdzeniu (w żelazie). Można to przedstawić jak na **rysunku 4b** lub pro-

ściej jak na **rysunku 4c**. Z uwagi na spadek napięcia na zastępczej rezystancji strat R_S , w praktycznych warunkach napięcie wyjściowe transformatora U_2 zależy od obciążenia i jest niższe, niż wynikałoby z przekładni (liczby zwojów).

Oczywiście transformator w ogóle nie będzie spełniał swej funkcji (i prawdopodobnie dosłownie spali się) po dołączeniu do źródła napięcia stałego według **rysunku 5** – wtedy przez uzwojenie pierwotne popłynie bardzo duży prąd stały, ograniczony tylko rezystancją drutu uzwojenia pierwotnego. Natomiast przy prądzie zmiennym (**rysunku 3b, 4a**) w grę wchodzi indukcyjność uzwojeń i reakcja indukcyjna, które omówimy później.

A teraz kolejna ważna sprawa: Na wcześniejszych rysunkach zaznaczyliśmy strzałki prądu i napięcia, ale mieliśmy świadomość, że chodzi o prąd zmienny, dwukierunkowy, pulsujący, sinusoidalny. Teraz niejako wracamy do prądów stałych: otóż przebieg przemienny możemy zamienić na jednokierunkowy, czyli wyprostować, stosując diodę (*prostownik półokresowy, jednopołówkowy*), która przepuści tylko dodatnie połówki napięcia



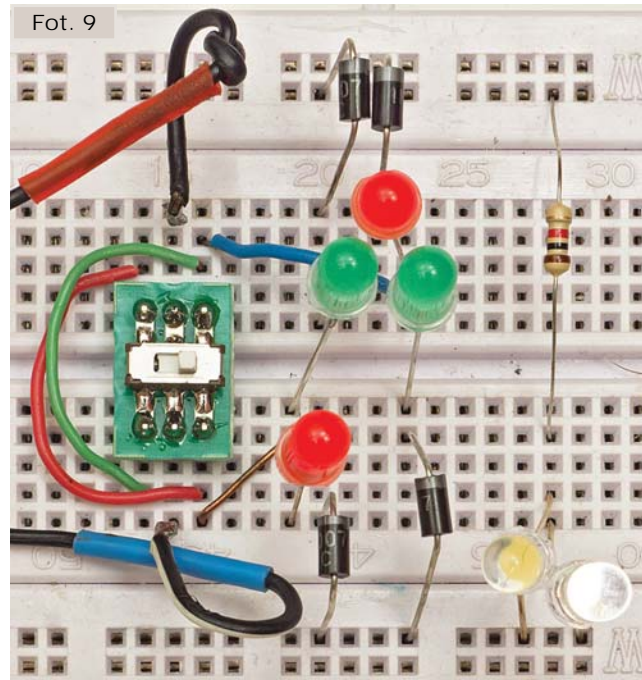
i prądu według **rysunku 6**. Natomiast **rysunek 7** pokazuje lepsze rozwiązanie: *prostownik pełnokresowy (dwupołówkowy, mostkowy)*, zwany często mostkiem Graetza (czyt. *greca*) od nazwiska wynalazcy, i różne sposoby jego rysowania na schematach.

Działanie mostka Graetza możesz zbadać w układzie z **rysunku 8 i fotografii 9**, gdzie przełącznik zastępuje źródło napięcia zmiennego. Zauważ, że przez każdą z diod mostka płynie połowa prądu, więc np. mostek zawierający diody 1-ampereowe może prostować prąd do 2 amperów.

Do wad wszystkich prostowników należy spadek (strata) napięcia na diodach prostowniczych i wydzielanie się w nich mocy strat – grzanie ($P = U_F \cdot I$). Dlatego w prostownikach małych napięć, rzędu kilku woltów i dużych prądów, rzędu kilku czy kilkunastu amperów, zwykle zamiast „zwykłych” diod stosuje się diody Schottky’ego, mające niższe napięcie przewodzenia, a obecnie także coraz częściej stosuje się mające jeszcze mniejsze straty tak zwane *prostowniki synchroniczne* z tranzystorami.

W następnej części zajmiemy się na pozór błahym problemem filtrowania napięcia. Omówimy też układy powielaczy napięcia.

Piotr Górecki



Zawsze znajdziesz, przejrzysz i kupisz aktualny numer „Elektroniki dla Wszystkich” (zarówno w wersji papierowej, jak i elektronicznej) na www.UlubionyKiosk.pl