

doi:10.15199/48.2016.12.47

## Pomiar sprawności energetycznej podzespołów spawarki inwerterowej

**Streszczenie.** Efektywne wykorzystanie energii jest kluczowym czynnikiem wielu urządzeń. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów sprawności energetycznej podzespołów spawarki inwerterowej. Prezentowana metoda pozwala na obliczenie mocy czynnej oraz sprawności w przypadku przebiegów odkształconych.

**Abstract.** The efficient use of energy is a key factor in most devices. The article presents measurements of the Electric Power Efficiency of the welding inverter components. The following method allows us in principle to calculate Real Power and Electric Power Efficiency when waveforms are distorted. (The measurement of electric power efficiency of welding inverter components)

**Słowa kluczowe:** sprawność, spawarka inwerterowa, pomiar mocy czynnej, przebiegi odkształcone.

**Keywords:** efficiency, inverter welder, measurement of real power, waveforms distorted.

### Wstęp

Rozwój technologiczny materiałów ferromagnetycznych oraz elementów półprzewodnikowych dużej mocy przyczynił się do możliwości projektowania i konstruowania układów impulsowych posiadających bardzo wiele zalet. Praca transformatora głównego na częstotliwości rzędu kilkudziesięciu a nawet kilkuset kiloherców powoduje, że takie urządzenia charakteryzują się znacznie mniejszymi wymiarami i wagą w odniesieniu do układów opartych o tradycyjne transformatory sieciowe. Ponadto układy impulsowe posiadają wysokie sprawności energetyczne [3,5,6,7].

Jednak, aby możliwe było uzyskanie większej sprawności energetycznej skonstruowanego urządzenia, niezbędna jest informacja o stratach wnoszonych przez poszczególne podukłady. W pracy przedstawiono sposób pomiaru sprawności energetycznej podzespołów układu impulsowego.

### Badane urządzenie

Pomiary sprawności energetycznej poszczególnych podzespołów układu impulsowego przeprowadzono na przykładzie prototypowej spawarki inwerterowej (rys. 1), zaprojektowanej i skonstruowanej przez autora artykułu.



Rys.1. Badana spawarka inwerterowa

Schemat blokowy badanego urządzenia pokazano na rysunku 2. Przedstawiono na nim tylko podzespoły toru mocy, ponieważ to one w głównej mierze decydują o sprawności całego urządzenia.

Podstawowym parametrem spawarki inwerterowej jest wydajność prądowa ciągła, która wynosi 70 A. Zasadniczym elementem urządzenia jest falownik wykonany w topologii pełnomostkowej na tranzystorach typu IGBT. Tranzystory pracują na częstotliwości ok. 16 kHz. Zastosowanie prostownika wyjściowego dwupołkowego powoduje, że największa częstotliwość podstawowa, występująca w torze mocy wynosi ok. 32 kHz [1].

### Sprawność energetyczna

Sprawność energetyczna określana jest następującą zależnością (1) [8].

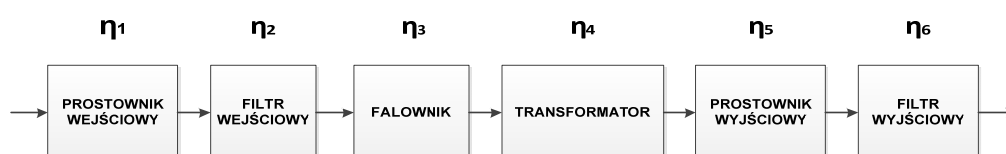
$$(1) \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 [\%]$$

gdzie:  $\eta$  – sprawność energetyczna,  $P_1$  – moc czynna pobrana,  $P_2$  – mocy czynna oddana.

Zgodnie z powyższym wzorem wyznaczenie sprawności energetycznej sprowadza się do pomiaru mocy czynnej na wejściu i wyjściu badanego układu.

### Problematyka pomiaru sprawności energetycznej

Obecnie, najczęściej do pomiarów energetycznych wykorzystywane są urządzenia przystosowane dla sygnałów sinusoidalnych o częstotliwości 50/60 Hz. Stosowanie takich przyrządów pomiarowych przy sygnałach odkształconych o znacznie większej częstotliwości powoduje, że uzyskane wyniki są obarczone bardzo dużymi błędami. Wysokie wartości skuteczne napięć i prądów mogą spowodować uszkodzenie miernika. Pomiar mocy czynnej oddanej i pobranej przez większość podzespołów układu impulsowego nie jest możliwy z wykorzystaniem klasycznych przyrządów pomiarowych (np. watomierzy). W związku z tym wyznaczenie sprawności energetycznej wymaga zastosowania odpowiedniej metody pomiarowej [2,4].



Rys.2. Schemat blokowy prototypowej spawarki inwerterowej

## Metoda pomiarowa

Wyznaczenie sprawności energetycznej podzespołów spawarki inwerterowej, w oparciu o zarejestrowane przebiegi napięcia i prądu, wymagało przeprowadzenia następujących czynności:

- zarejestrowanie kilkudziesięciu (w prezentowanej pracy 100) przebiegów napięcia i prądu na wejściu i wyjściu badanych podzespołów oraz ich zapisanie w formacie CSV (z ang. comma-separated values);
- wyznaczenie mocy czynnej dla każdego przypadku przy wykorzystaniu plików CSV oraz autorskiego programu napisanego w środowisku *Matlab*;
- uśrednienie uzyskanych wartości mocy czynnych;
- wyznaczenie sprawności energetycznej zgodnie z zależnością (1).

Przy użyciu prezentowanej metody pomiarowej, sonda napięciowa oraz sonda prądowa (lub bocznik pomiarowy) muszą posiadać odpowiednią charakterystykę częstotliwościową. Pasma ich przenoszenia powinny zawierać zakres częstotliwości obejmujący wszystkie istotne pod względem energetycznym harmoniczne, występujące w przebiegach napięcia i prądu. Wykorzystywane sondy muszą także charakteryzować się odpowiednim zakresem mierzonych wielkości.

Kolejnym czynnikiem wpływającym na dokładność pomiaru napięcia i prądu jest efektywne wykorzystanie rozdzielczości przetwornika oscyloskopu. Dlatego też obserwowane przebiegi powinny zajmować możliwie największą część skali w osi pionowej.

W związku z tym, że moc czynna jest uśrednionym za okres (lub wielokrotność okresu) iloczynem wartości chwilowych napięcia i prądu, na oscylogramach powinien być widoczny, co najmniej jeden okres przebiegu napięcia i prądu.

## Stanowisko pomiarowe

Badania laboratoryjne przeprowadzono na stanowisku pomiarowym (rys. 3) składającym się z następujących elementów:

- oscyloskop cyfrowy Rigol DS1052E,
- sonda prądowa FLUKE i30 s,
- różnicowa sonda napięciowa TESTEC TT-SI9002,
- obciążenie rezystancyjne



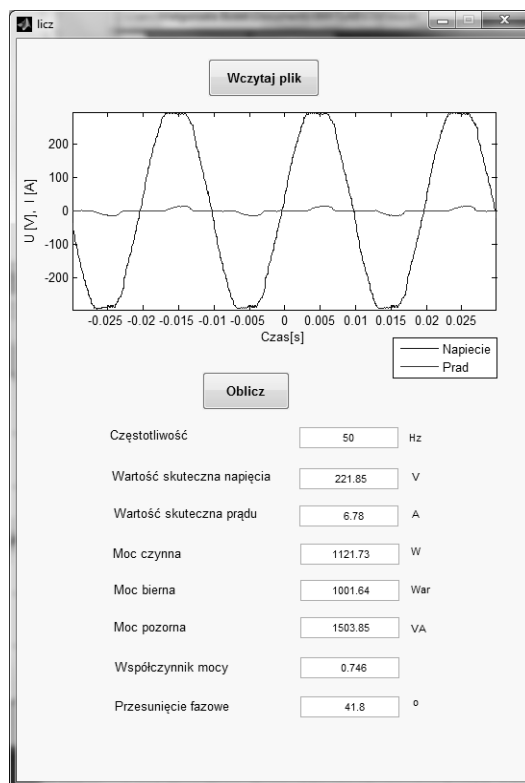
Rys.3. Stanowisko pomiarowe

Podczas przeprowadzania pomiarów spawarkę podłączono do obciążenia o charakterze rezystancyjnym. Wartość rezystancji dobrano tak, aby wartość skuteczna prądu wyjściowego wynosiła 20 A (ograniczenie ze względu na zakres sondy prądowej).

## Przetwarzanie danych pomiarowych

W celu otrzymania pożądanych wartości parametrów, zarejestrowane przebiegi zostały przetworzone z

wykorzystaniem autorskiego oprogramowania napisanego w środowisku *Matlab* (rys. 4).



Rys.4. Interfejs graficzny programu

Program, na podstawie pliku (wygenerowanego przy użyciu oscyloskopu) zapisanego w formacie CSV, pozwala na obliczenie wielu parametrów m.in.: częstotliwości pierwszej harmonicznej prądu (wykorzystanie widmowej detekcji częstotliwości), wartości skutecznej napięcia, wartości skutecznej prądu, mocy czynnej, mocy biernej, mocy pozornej, współczynnika mocy oraz przesunięcia fazowego.

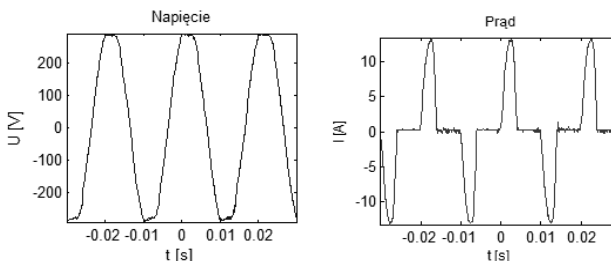
Na podstawie zarejestrowanych próbek napięcia i prądu wyliczono moc czynną zgodnie z zależnością (2) [9].

$$(2) \quad P = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N v(n) \cdot i(n)$$

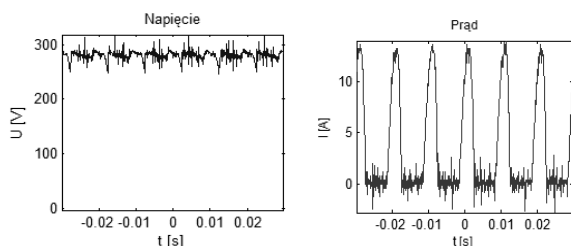
gdzie: P – moc czynna, N – liczba próbek w okresie (wielokrotności okresu) sygnału, n – numer próbki sygnału, v(n) – wartość próbki napięcia, i(n) – wartość próbki prądu.

## Wyniki pomiarów

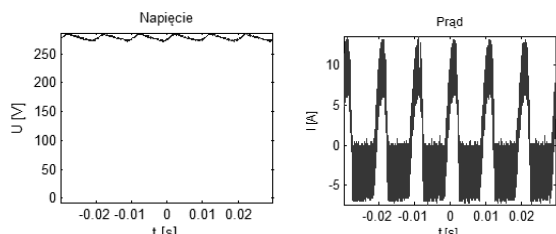
Poniżej przedstawiono przykładowe przebiegi wejściowe i wyjściowe prądu oraz napięcia dla poszczególnych bloków spawarki inwerterowej: prostownika wejściowego, filtra wejściowego, falownika, transformatora, prostownika wyjściowego i filtra wyjściowego.



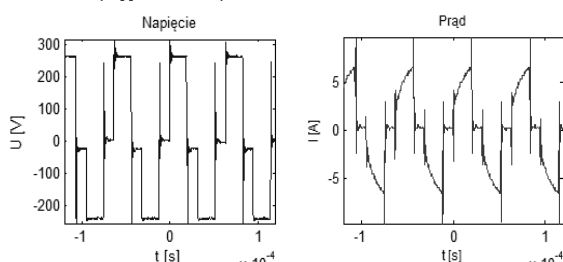
Rys. 5. Przykładowe przebiegi napięcia i prądu na wejściu prostownika wejściowego



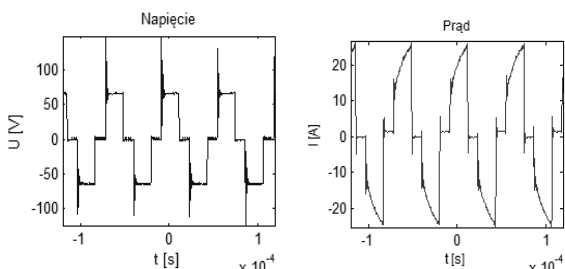
Rys. 6. Przykładowe przebiegi napięcia i prądu na wejściu filtra wejściowego (wyjściu prostownika wejściowego)



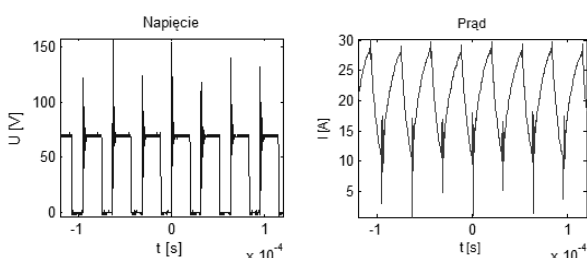
Rys. 7. Przykładowe przebiegi napięcia i prądu na wejściu falownika (wejściu filtra)



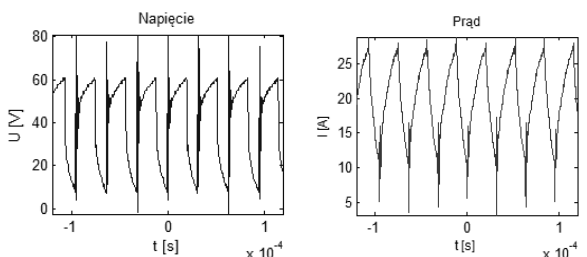
Rys. 8. Przykładowe przebiegi napięcia i prądu na wejściu transformatora (wejściu falownika)



Rys. 9. Przykładowe przebiegi napięcia i prądu na wejściu prostownika wyjściowego (wejściu transformatora)



Rys.10. Przykładowe przebiegi napięcia i prądu na wejściu filtra wyjściowego (wyjściu prostownika wyjściowego)



Rys.11. Przykładowe przebiegi napięcia i prądu na wyjściu filtra wyjściowego

Wyniki uśrednionych mocy czynnych na wejściu i wyjściu każdego podzespołu spawarki inwerterowej przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki uśrednionych mocy czynnych

Podzespół	Moc czynna wejściowa [W]	Moc czynna wyjściowa [W]
Prostownik wejściowy	1007,53	998,19
Filtr wejściowy	998,19	972,69
Falownik	972,69	935,96
Transformator	935,96	884,82
Prostownik wyjściowy	884,82	874,51
Filtr wyjściowy	874,51	866,37

Na podstawie wyników uśrednionych mocy czynnych zamieszczonych w tabeli 1 oraz zależności (1) wyznaczono sprawności energetyczne poszczególnych bloków spawarki inwerterowej. Zostały one przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2. Sprawności energetyczne podzespołów spawarki inwerterowej

Podzespół	Sprawność energetyczna [%]
Prostownik wejściowy	99,07
Filtr wejściowy	97,44
Falownik	96,22
Transformator	94,54
Prostownik wyjściowy	98,83
Filtr wyjściowy	99,07

### Wnioski

Przedstawiona w pracy metoda pozwala na wyznaczenie wartości mocy czynnej pobieranej i oddawanej przez układ nieliniowy oraz jego sprawność. Dzięki niej możemy również wyznaczać inne parametry elektryczne takie, jak: wartości skuteczne napięć i prądów, moc bierna, moc pozorną, współczynnik mocy oraz przesunięcie fazowe. Do pomiarów niezbędny jest tylko oscyloskop cyfrowy z sondami pomiarowymi oraz odpowiednie oprogramowanie.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że najmniejszą sprawnością energetyczną charakteryzuje się transformator oraz falownik. To właśnie te podzespoły powodują powstawanie największych strat w spawarce inwerterowej. Sprawność energetyczną badanego urządzenia można zwiększyć np. poprzez: zastosowanie tranzystorów o lepszych parametrach (np. mniejszym napięciu kolektor-emiter w stanie przewodzenia w przypadku tranzystora IGBT), zwiększenie przekrojów uzwojeń transformatora.

**Autorzy:** mgr inż. Rafał Białek, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Systemów Elektronicznych, Zakład Systemów Informacyjno- Pomiarowych, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: [rafal.bialek@wat.edu.pl](mailto:rafal.bialek@wat.edu.pl).

### LITERATURA

- [1] Białek R., *Projekt i badania laboratoryjne spawarki inwerterowej*, praca magisterska, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2015
- [2] Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A.: *Metrologia elektryczna*, Warszawa 2003
- [3] Dmowski A., *Energoelektroniczne układy zasilania prądem stałym*, Warszawa 1998
- [4] Kuśmerek Z., *Pomiary mocy i energii w układach elektroenergetycznych*, Warszawa 1994
- [5] Januszewski S., *Energoelektronika*, Warszawa 2013
- [6] Tunia M., Barlik R., *Teoria przekształtników*, Warszawa 2003
- [7] Baranowski J., Czajkowski G.: *Układy elektroniczne cz. II, Układu analogowe nieliniowe i impulsowe*, Warszawa 2004
- [8] Olszewski A., Starzak Ł.: *Podstawy energoelektroniki, laboratorium*, Łódź 2006
- [9] Corney A. C., Pullman R. T., *Digital Sampling Laboratory Wattmeter*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1987