

## Energoelektroniczne źródła sterowane napięć i prądów realizowane w oparciu o przekształtniki wielokanałowe

**Streszczenie.** W artykule zaprezentowano koncepcję energoelektronicznych szerokopasmowych źródeł sterowanych napięć i prądów wykorzystujących przekształtniki wielokanałowe. Nowe podejście do realizacji algorytmów sterowania układem – na bazie rozszerzenia klasycznej teorii próbkowania Whittakera-Kotelnikova-Shannona oraz rozwiązania części silnoprądowej pozwoliło na znaczące polepszenie jakości energetycznego sygnału wyjściowego w sensie odwzorowania w nim sygnału zadanego. W artykule zaprezentowano zasady działania oraz wyniki wybranych badań symulacyjnych układów tego typu.

**Słowa kluczowe:** MSI, przekształtnik, teoria próbkowania, źródło sterowane

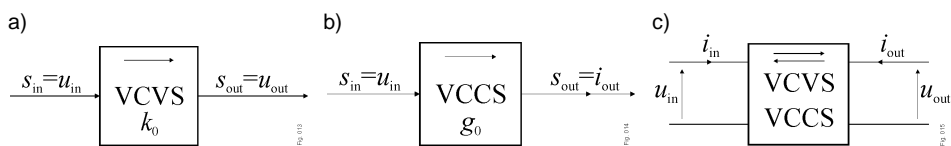
### Wprowadzenie

Rosnące wymagania techniczne związane z dokładnością sterowania układami energoelektronicznymi oraz ich odpornością na zakłócenia zarówno od strony odbiornika, jak i zasilania powoduje, że wzrasta zapotrzebowanie na układy energoelektroniczne liniowe ze względu na relacje pomiędzy wielkością wyjściową a wejściową oraz spełniające wysokie wymagania związane z odpornością na ineterefrencje elektromagnetyczne (EMI).

Zapotrzebowanie na układy tego typu występuje w wielu dziedzinach techniki i obszarach pokrewnych, jak np.: elektroenergetyka, napęd elektryczny, ekroakustyka, elektrobiomedycyna [1,2,7].

### Koncepcja energoelektronicznych źródeł sterowanych

Zagadnieniom przekształcania energii w sposób optymalny ze względu na zadania wykonywane przez odbiornik wychodzą naprzeciw energoelektroniczne szerokopasmowe sterowane źródła napięć (ang. VCVS – Voltage Controlled Voltage Source) i prądów (ang. VCCS – Voltage Controlled Current Source).



Rys. 1. Model układowe sterowanego źródła napięcia (rys. a) i prądu (rys. b); c) źródło sterowane przedstawione formalnie jako czwórnik.

Określenie tej klasy układów energoelektronicznych jako źródła sterowane wywodzi się bezpośrednio od szeroko stosowanej klasy układów elektronicznych, gdzie sygnał wyjściowy jest proporcjonalny (wprost) do sygnału sterującego (rys. 1) jednak, w zasadzie, nie żąda się tam istotnej wydajności prądowej. Traktując VCVS i VCCS jako

czwórniki i opisując je za pomocą, odpowiednio, macierzy hybrydowej odwrotnej  $G$  i macierzy admitancyjnej  $Y$ , sygnały wyjściowe powiązać można z sygnałami wejściowymi równaniami:

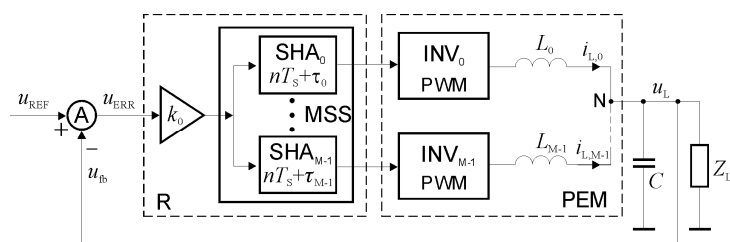
$$(1) \quad \begin{bmatrix} i_{in} \\ u_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ k_0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{in} \\ i_{out} \end{bmatrix}$$

$$(2) \quad \begin{bmatrix} i_{in} \\ i_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ g_0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{in} \\ u_{out} \end{bmatrix}$$

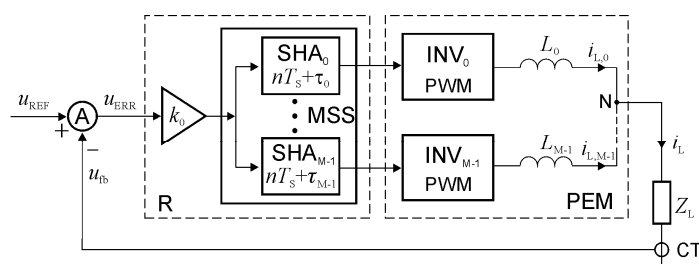
Opis ten dotyczy formy wyidealizowanej źródeł sterowanych tzn.: o impedancji wejściowej dążącej do niekończoności, zerowej impedancji wyjściowej i braku oddziaływania wstecznego sygnału z wyjścia na wejście czwórnika.

Proponowana struktura VCVS i VCCS [3] realizowanych na bazie wielokanałowych przekształtników energoelektronicznych [6] opiera się, w zakresie algorytmu sterowania, przede wszystkim na rozszerzeniu [5] teorii próbkowania Whittakera-Kotelnikova-Shannona i jej konsekwencjach. Oparta jest na pracy tych układów jako zamkniętych (ze względu na występującą pętlę sprzężenia zwrotnego) przy zastąpieniu klasycznych regulatorów przez filtry szerokopasmowe i sterowanych w systemie modulacji impulsowej – rys. 2.

a)



b)



Rys. 2. Schematy ideowo-blokowe sterowanego źródła napięcia (rys. a) i sterowanego źródła prądu (rys. b) pracujących na bazie przekształtników wielokanałowych.

Zasadnicze bloki składowe źródeł sterowanych to:

- sumator sygnałów referencyjnego  $u_{REF}$  i sprzężenia zwrotnego  $u_{fb}$ , generujący sygnał błędny  $u_{ERR}$  (A),

## **VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012**

- wzmacniacz sygnału błędu – wchodzący w skład regulatora wielkości wyjściowej (R), o wzmacnieniu  $k_0$ ,
- układy próbkująco-pamiętające (SHA) w liczbie  $M$  tworzące wspólnie wielowymiarowy system próbkująco-pamiętający (MSS), gdzie  $M$  jest liczbą kanałów w układzie,
- zespół przekształtników energoelektronicznych (INV) w liczbie  $M$ , pracujących w trybie modulacji impulsowej (PWM),
- $L_i, C$  – elementy filtrów wyjściowych,
- CT – przetwornik pomiarowy prądu,
- $Z_L$  – odbiornik.

Istota pracy wielowymiarowego układu próbkująco-pamiętającego polega na próbkowaniu sygnału błędu z wzajemnym przesunięciem o czas  $T_s/M$  chwil próbkowania w poszczególnych kanałach, gdzie  $T_s$  jest wartością częstotliwości próbkowania – wspólną dla wszystkich kanałów.

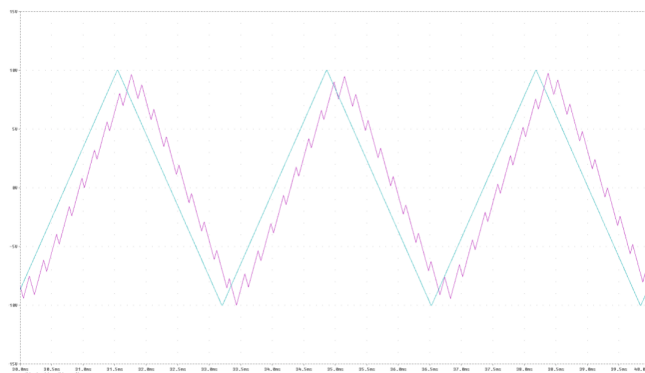
Jak pokazano w pracy [4] energoelektroniczne źródła sterowane realizowane w oparciu o przekształtniki wielokanałowe pozwalają na istotne podniesienie jakości energetycznej wielkości wyjściowej – sygnału napięcia  $u_L$  lub prądu  $i_L$ , w sensie odwzorowania jego kształtu w sygnale referencyjnym. Jest to możliwe dzięki:

- znaczącemu (np. niemal 2-krotnemu dla układu 2-kanałowego) wzrostowi wartości współczynnika wzmocnienia układu (regulatora) w otwartej pętli sprzężenia zwrotnego przy zachowaniu stabilnej pracy układu zamkniętego,
- kształtowaniu sygnału wyjściowego w węzle sumacyjnym (N), na który składają się odpowiednio przesunięte sygnały energetyczne pochodzące z poszczególnych, równoległe pracujących kanałów części silnopiętowej układu,
- wzrostowi skuteczności pracy filtra pasywnego – z uwagi na  $M$  – krotne przesunięcie w kierunku częstotliwości wyższych składowych widma sygnału wyjściowego związanych z częstotliwością nośną modulacji impulsowej.

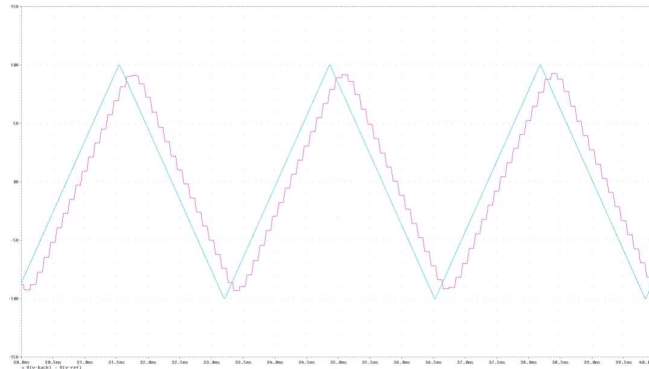
### **Badania modeli symulacyjnych energoelektronicznych źródeł sterowanych**

Dla zilustrowania zasady działania modeli sygnałowych energoelektronicznych źródeł sterowanych przeprowadzono, w środowisku ORCAD/PSPICE, badania ich modeli symulacyjnych. Wybrane wyniki tych badań, dotyczące sterowanego źródła prądu, przedstawiono na rys. 3 dla częstotliwości nośnej PWM równej 5 kHz i sygnału referencyjnego o kształcie liniowym.

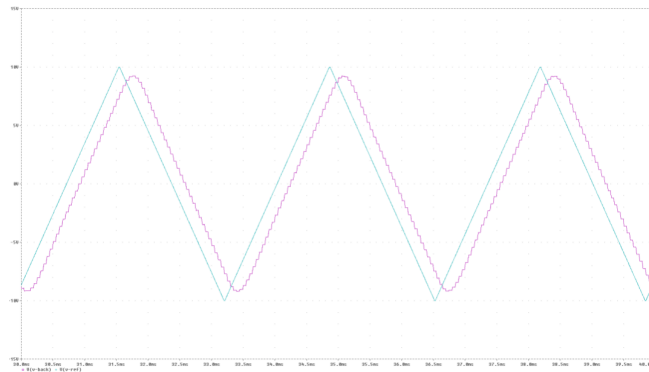
a)



b)



c)



Rys. 3. Przebiegi napięcia referencyjnego (kolor niebieski) i prądu wyjściowego (kolor fioletowy) w modelu symulacyjnym sterowanego źródła prądu: a) 1-kanalowym, b) 2-kanalowym, c) 4-kanalowym; wartość częstotliwości nośnej sygnału PWM: 5 kHz.

Prezentowane przebiegi wskazują na istotny wzrost jakości prądu wyjściowego w układzie wielokanałowym w stosunku do 1-kanalowego wynikający już samego faktu odpowiedniego przesunięcia faz sygnałów nośnych modulacji impulsowych w poszczególnych kanałach układu. Wynika stąd również istotnie większa skuteczność filtracji sygnału przez filtr wyjściowy w celu minimalizacji składowych związanych z częstotliwością nośną i jej wielokrotnością.

### Podsumowanie

Szerokopasmowe energoelektroniczne sterowane źródła napięć i prądów oparte na przekształtnikach wielokanałowych reprezentują nowy rodzaj układów energoelektronicznych. Dzięki oparciu algorytmów sterowania na rozszerzeniu klasycznej teorii próbkowania Whittakera-Kotelnikova-Shannona oraz modyfikacji struktury części silnopądowej możliwe stało się tutaj znaczące podniesienie jakości energetycznych sygnałów wyjściowych – w stosunku do konwencjonalnych układów energoelektronicznych. Sterowane szerokopasmowe źródła napięć i prądów mogą stanowić bazę dla licznych zaawansowanych układów i urządzeń energoelektronicznych.

## **VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012**

### **Bibliografia**

1. Gwóźdź M. , Porada R. , Compensate for Loading Effects on Power Lines with a DSP-Controlled Active Shunt Filter. Analog Devices, Inc. – Analog Dialogue, 1999, Vol. 33, No 9.
2. Gwóźdź M. , Porada R. , Liniowe źródło prądu w generatorze przestrzennego pola magnetycznego. Mat. XXVIII Międzynarodowej Konferencji z Podstaw Elektrotechniki i Teorii Obwodów, Gliwice-Wisła, IC-SPETO2005, 26-29 maj 2005, t. 2, ss. 329-332.
3. Gwóźdź M. , Analiza pracy szerokopasmowych przekształtników energoelektronicznych. Przegląd Elektrotechniczny nr 12/2010, ss. 216-221.
4. Gwóźdź M. , Stability of Discrete-Time Systems on Base of Generalized Sampling Expansion. Mat. XXXIV Konferencji IC-SPETO 2011, Gliwice-Ustoń, 18-21.05.2011, pp. 71-72.
5. Papoulis A. , Generalized Sampling Expansion. IEEE Transactions on Circuits and Systems, v.24, Nov. 1977.
6. Saggini S. , Ghioni M. , Geraci A. , An innovative digital control architecture for low-voltage, high-current DC-DC converters with tight voltage regulation. IEEE Transactions on Power Electronics, Volume: 19, Issue: 1, Jan. 2004, pp. 210 – 218.
7. Sieroń A. , Zastosowanie pól magnetycznych w medycynie.  $\alpha$ -medica Press, Bielsko Biała, 2002.

---

**Autor:** dr inż. Michał Gwóźdź, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3A, 60-965 Poznań, e-mail: Michal.Gwozdz@put.poznan.pl