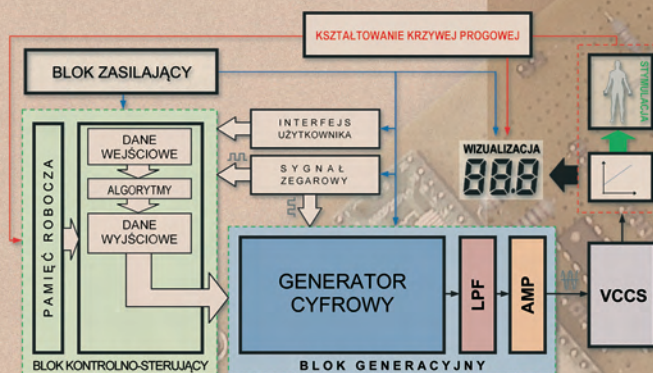


MONOGRAFIE, STUDIA, ROZPRAWY

M101

Mirosław Płaza, Zbigniew Szcześniak

PRZETWARZANIE SYGNAŁÓW W ELEKTROTERAPII



Politechnika Świętokrzyska

Kielce 2018

MONOGRAFIE, STUDIA, ROZPRAWY

M101

Mirosław Płaza, Zbigniew Szcześniak

**PRZETWARZANIE SYGNAŁÓW
W ELEKTROTERAPII**

Kielce 2018

MONOGRAFIE, STUDIA, ROZPRAWY NR M101

Redaktor Naukowy serii

NAUKI TECHNICZNE – ELEKTRYKA

dr hab. inż. Jerzy AUGUSTYN, prof. PŚk

Recenzenci

dr hab. inż. Marian JANCZAREK, prof. PL

prof. dr hab. inż. Mykhaylo DOROZHOVETS

Redakcja

Irena PRZEORSKA-IMIOŁEK

Projekt okładki

Tadeusz UBERMAN

© Copyright by Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2018

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej pracy nie może być powielana czy rozpowszechniana w jakiegokolwiek formie, w jakikolwiek sposób: elektroniczny bądź mechaniczny, włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem na taśmy lub przy użyciu innych systemów, bez pisemnej zgody wydawcy.

PL ISSN 1897-2691

PL ISBN 978-83-65719-31-7

Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej
25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
tel./fax 41 34 24 581
e-mail: wydawca@tu.kielce.pl
www.wydawnictwo.tu.kielce.pl

Wykaz ważniejszych oznaczeń	5
Wprowadzenie	7
1. WYBRANE ASPEKTY WYKORZYSTANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ W CELACH LECZNICZYCH	11
1.1. Sygnały elektryczne stosowane w elektroterapii	13
1.2. Wpływ zmiennego pola elektrycznego na wybrane funkcje organizmu	18
2. TERAPIA ENERGETONOWA	25
2.1. Krzywa progowa wrażliwości człowieka na prąd	26
2.2. Techniki terapeutyczne	29
2.3. Rozwiązania techniczne	33
2.4. Testy systemu HiToP	39
2.5. Analiza możliwości poprawy efektywności terapii energetonowej	42
3. CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH STRUKTUR GENERATORÓW DRGAŃ SINUSOIDALNYCH	45
3.1. Analogowe metody generacji sygnałów	46
3.1.1. Generatory sprzężeniowe RC w ujęciu liniowym i nieliniowym	49
3.1.2. Ogólna koncepcja sprzężeniowego układu generacyjnego RC	59
3.1.3. Implementacja generatorów RC w terapii energetonowej	66
3.2. Cyfrowe metody generacji sygnałów sinusoidalnych	68
3.3. Analogowe i cyfrowe metody generacji w aparatach terapeutycznych	74
4. SYSTEM PRZETWARZANIA SYGNAŁÓW DO ZASTOSOWAŃ W TERAPII ENERGETONOWEJ	77
4.1. Charakterystyka systemu	77
4.1.1. Blok kontrolno-sterujący oraz obwód kształtowania krzywej progowej ...	79
4.1.2. Blok generacyjny	85
4.1.2.1. Generator cyfrowy AD9834	86
4.1.2.2. Dolnoprzepustowy filtr wygładzający	98
4.1.2.3. Przetwornik cyfrowo-analogowy AD5620	108
4.1.2.4. Stopień wzmacniający	111

4.1.3. Źródło prądowe sterowane napięciem	113
4.2. Praktyczna realizacja bloku generacyjnego	117
5. WERYFIKACJA PRACY SYSTEMU	118
5.1. Stanowisko badawcze	118
5.2. Algorytm testowania pracy systemu	120
5.3. Kształtowanie krzywej progowej	121
Podsumowanie	126
Literatura	127
Streszczenie	137
Summary	139

LITERATURA

- [1] *Encyklopedia zdrowia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011.
- [2] Franek A., Franek E., Polak A., *Nowoczesna elektroterapia – wybór zagadnień*, Śląska Akademia Medyczna, Katowice 2001.
- [3] Mika T., *Fizjoterapia – Podręcznik dla wydziałów fizjoterapii medycznych studiów zawodowych*, wyd. 2, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 1996.
- [4] Jaśkiewicz J., Bromboszcz J., Włoch T., Piekarz A., Blachura L., *Jonoforeza i fonoforeza. Podstawy teoretyczne i zastosowanie praktyczne*, Wydawnictwo Rehabilitacja Medyczna, 4, 2000.
- [5] Straburzyńska-Lupa A., Straburzyński G., Straburzyńska-Migaj E., *Fizjoterapia z elementami klinicznymi. Tom 2*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 2008.
- [6] Głąb G., Dudek J., *Terapia energotonowa – podstawy teoretyczne i zastosowanie w wybranych schorzeniach*, Rehabilitacja w Praktyce, 3, 38-41, 2009.
- [7] Dudek J., *Terapia energotonowa*, Ogólnopolski Przegląd Medyczny, 11(02), 2002 Dział: Rehabilitacja (<http://www.emedyk.pl/>, dostęp 21.02.2013).
- [8] May H.U., *Simultaneous modulation of frequency and amplitude of middle frequency currents between high tone and low ultrasound range – applied physiology for differentiated electrotherapy concerning the distinction and specific proportional mixture of stimulatory and non-stimulatory (metabolic and/or blocking) effects*, Pflügers Archiv - European Journal of Physiology, 443, Suppl. (P. 53-9) 363, 2002.
- [9] May H.U., *Extremely comfortable transcutaneous electrical stimulation of nerves - including motor and sympathetic fibers - by simultaneous modulation of frequency and amplitude of middle frequency currents*, Pflügers Archiv - European Journal of Physiology, 447, Suppl. 1, March (P. 35-11) 156, 2004.
- [10] Reichstein L., Labrenz S., Ziegler D., Martin S., *Effective treatment of symptomatic diabetic polyneuropathy by high-frequency external muscle stimulation*, Diabetologia, 48(5), 2005, 824-8.
- [11] Wilk M., Fibiger W., Frańczuk B., *Zastosowanie terapii energotonowej w rehabilitacji pacjentów po uszkodzeniach tkanek miękkich stawu kolanowego*, Fizjoterapia Polska, 2(2), 2002, 118-121.
- [12] Wróbel P., Trąbka R., Niedźwiedzka B., *Terapia energotonowa w leczeniu zespołów bólowych kręgosłupa lędźwiowego*, Fizjoterapia Polska, 3(2), 2003.
- [13] Śliwiński Z., Halat B., Gieremek K., Ufniak B., Chmerek-Rojczyk J., *Terapia wysokotonowa w kompleksowym usprawnianiu dzieci z mózgowym porażeniem*, Fizjoterapia Polska, 3, 2003.
- [14] Ziółkowska A., Ziółkowski R., Śliwiński Z., *Zastosowanie terapii energotonowej u pacjentek z zespołem przewlekłego bólu miednicznego*, Fizjoterapia Polska, 5(2), 2005, 183-188.
- [15] Obałkowska A., *Terapia energotonowa w leczeniu choroby zwyrodnieniowej stawu biodrowego*, Fizjoterapia Polska, 3, 2003.

- [16] Śliwiński Z., Plaza P., Gieremek K., Kufel W., Michalak B., Halat B., Śliwiński G., Wilk M., Kiebzak W., *Assessment Of The Effect Of High-Tone Power Therapy In Rehabilitation Of Stroke Patients*, Polish Journal of Physiotherapy, 8(2), 2008, 197-205.
- [17] Ziółkowska A., Ziółkowski R., Śliwiński Z., *Wpływ terapii energotonowej na torbiele jajnikowe u kobiet*, Fizjoterapia Polska, 5(2), 2005, 277- 280.
- [18] HiToP BodyBeauty 172 - User manual, gbo Medizintechnik, Version 1.4, 15.02.2010.
- [19] Patent DE10039240A1, Electrotherapeutisches Gerat, Numer zgłoszenia: 10039240.7, Wynalazca: Hans-Ulrich May, Data publikacji: 28.02.2002.
- [20] Patent PL204564B1, Urządzenie elektroterapeutyczne, Numer zgłoszenia: 365773, Wynalazca: Hans-Ulrich May, Data i numer publikacji zgłoszenia międzynarodowego: 21.02.2002, WO02/13904.
- [21] United States Patent US7418294, Electro-therapeutic device, Numer zgłoszenia: 10/344,383, Wynalazca: Hans-Ulrich May, Data publikacji: 26.08.2008.
- [22] HiToP 2 Touch - User manual, gbo Medizintechnik, Version 1.2, 12.10.2011.
- [23] HiToP 4 Touch - User manual, gbo Medizintechnik, Version 1.2, 12.10.2011.
- [24] Zyss T., Hese R.T., Zięba A., *Terapia wstrząsowa w psychiatrii – rys historyczny*, Psychiatria Polska, 2008, 42(6), 797-818.
- [25] Nelson J.S., *Fishes of the world*, John Wiley & Sons, New York 2006.
- [26] Kratzensteins Ch.G., *Herausgegebene Physikalische Briefe*, Nabu Press, 2011.
- [27] Wesley J., *The desideratum: or, Electricity made plain and useful*, Bailliere, Tindall, and Cox, London 1759.
- [28] Watkins A.L., *A manual of electrotherapy*, Lea & Febiger, Philadelphia 1958.
- [29] Malmivuo J, Plonsey R., *Bioelectromagnetism – principles and applications of bioelectric and biomagnetic fields*, Oxford University Press, New York 1995.
- [30] Jallabert J., *Expériences sur l'électricité avec quelques conjectures sur la cause de ses effets*, Paris 1748.
- [31] Franklin B., *Electric Shocks in Paralytic Cases*, Letter to John Pringle, 21.12.1757.
- [32] Galvani L., *De Viribus Elictricitatis in Motu Musculari Commentarius*, Bon. Sci. Art. Inst. Acad. Comm., 7, 1791, 363-418.
- [33] Pancaldi G., *Volta: Science and Culture in the Age of Enlightenment*, Princeton University Press, 2005, 178 -189.
- [34] Faraday M., *Experimental Researches in Electricity*, Richard and John Edward Taylor, 1844.
- [35] Du Bois-Reymond E.H., *Untersuchungen Über Thierische Elektrizität: Bd., 1. Abth (German Edition)*, Verlag von G. Reimer, 1849.
- [36] Rondot P., *G.B.A. Duchenne de Boulogne (1806-1875)*, Journal of Neurology, 2005, 252(7), 866-867.
- [37] Erb W., *Handbuch der Elektrotherapie*, Av Akademikerverlag, Vdm Verlag, 2006.
- [38] Kane K., Taub A., *A history of local electrical analgesia*, Pain, 1, 1975, 125-138.
- [39] Malmivuo J., Plonsey R., *Bioelectromagnetism: Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields*, Oxford University Press, 1995.
- [40] Dommermuth-Costa C., *Nikola Tesla: A Spark of Genius*, Lerner Publications, 1994.
- [41] Guy A.W., *History of biological effects and medical applications of microwave energy*, IEEE Trans. on Microwave Theory&Technique, 32, 1984, 1182-1200.
- [42] Ho M.W., Popp F.A., Warnke U., *Bioelectrodynamics and Biocommunication*, World Scientific Pub. Co., 1994.
- [43] Mitchell J.P., Lumb G.N., *A Handbook of Surgical Diathermy*, J. Wright, Bristol, 1966.

- [44] Robinson A.J., Snyder-Mackler L., *Clinical Electrotherapy, Electrotherapy and Electrophysiologic Testing*, SE, Lippincott Williams & Wilkins, 1995.
- [45] Nelson R.M., Hades K.W., Currier D.P., *Clinical Electrotherapy*, Appleton&Lange Stamford Connecticut, 1999.
- [46] American Physical Therapy Association, *Electrotherapeutic Terminology in Physical Therapy*, Section on Clinical Electrophysiology, Alexandria 1990.
- [47] Demczyszak I. *Fizjoterapia w chorobach układu sercowo-naczyniowego*, Górnicki Wydawnictwo Medyczne, Wrocław 2006.
- [48] Zychowicz B., *Wykorzystanie prądu w kosmetyce*, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2006.
- [49] Adel R., Luykx R.H.J., *Low and medium Frequency Electrotherapy*, Enraf-Nonius B.V., 2005.
- [50] Strona internetowa: <http://fizjotechnologia.com/>, dostęp: 26.06.2013.
- [51] *Instrukcja używania systemu urządzeń do elektroterapii z funkcją diagnostyczną serii D6*, MARP Electronic Sp. z o.o., OI.DT.10 Wydanie 4, 05.2007.
- [52] Kundert K.S., *The Designer's Guide to SPICE and Spectre*, Kluwer Academic Publisher, 1995.
- [53] Szabatin J., „Podstawy teorii sygnałów”, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, 2003
- [54] Odell R.H. Jr., Sorgnard R.E., *Anti-inflammatory Effects of Electronic Signal Treatment*, Pain Physician, 11, 2008, 891-907.
- [55] Domenico G., *New Dimension in Interferential Therapy. A Theoretical & Clinical Guide*, Reid Medical Books, Lindfield 1987.
- [56] May H.U., *HiToP® Therapy, High Tone Power Therapy*, Prezentacja wygłoszona na szkoleniu: Współczesne tendencje w światowej terapii fizykalnej, Kołobrzeg, 6-11.04.2002.
- [57] Berg J.M., Stryer L., Tymoczko J.L., *Biochemia*, wyd. IV, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011.
- [58] Dafforn A., Koshland D.E., *Theoretical aspects of orbital steering*, Proc Nat. Acad. Sci. , 68, 1971, 2463-2467.
- [59] WeWoThom - High Tone Frequency Therapy Device – Product Information, WeWoThom GmbH, 2011 (<http://www.wewothom.nl/>, dostęp 05.03.2013).
- [60] Strona internetowa firmy EKO-Medica, (<http://www.ekomedica.com.pl/> dostęp 05.03.2013).
- [61] Nikolova-Troeva L., *Treatment with interferential current*, Churchill Livingstone, 1987.
- [62] Ehmen G., *Diffusionsbeeinflussung im Knochengewebe durch Interferenzstromverfahren*. Diplomarbeit Fachhochschule Wilhelmshaven, 1990.
- [63] Brighton C.T., Townsend P.F., *Increased cAMP production after short term capacitively coupled stimulation of bovine growth plate chondrocytes*, Journal of Orthopaedic Research, 6(4), 1988, 552-8.
- [64] Korenstein R.D., Somjen H. Fishler H., Binderman I., *Capacitively pulsed electric stimulation of bone cells. Induction of cyclic-AMP changes and DANN synthesis*, Acta Biochimica and Biophysica, 803, 1984, 302-307.
- [65] Schwartz R.G., *Electric sympathetic block*, Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 16, 2006, 1-10.
- [66] Farrar J., *Introduction to the supplement on ion channels*, Journal of Pain, 7, 2006, 3-12.

- [67] Drevor M., *Ion channels as therapeutic targets in neuropathic pain*, Journal of Pain, 7, 2006, 48-54.
- [68] Mazerski J., *Materiały pomocnicze do wykładów z podstaw biofizyki, Część V: Przekazywanie sygnałów*, Katedra Technologii Leków i Biochemii, Wydział Chemiczny, Politechniki Gdańskiej (<http://www.chem.pg.gda.pl/>, dostęp 12.03.2013).
- [69] Saunders W.B., *Regulation of Acid-Base Balance*. In: *Textbook of Medical Physiology*. 9 Ed., Guyton and Hall, Philadelphia, 1995, 346-363.
- [70] Zak I., *Chemia medyczna*, Śląska Akademia Medyczna, Katowice 2001.
- [71] Rokita E., *Mikroprądy – czasem mniej oznacza więcej*, Acta Bio-Optica et Informatica Medica, Inżynieria Biomedyczna, 12(3), 2006, 182-184.
- [72] Konturek S., *Fizjologia człowieka. Podręcznik dla studentów medycyny*, Urban & Partner, 2011.
- [73] Fuller G., Shields D., *Podstawy molekularne biologii komórki*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 2005.
- [74] Hogenkamp M., Mittelmeijer E., Smits I., Van Stralen C., *Interferential Therapy – Therapy Manual*, Enraf-Nonius B.V., Rotterdam, Netherlands, December 2005.
- [75] Głab G., Dudek J., Dembkowski M., *Zastosowanie terapii energotonowej w leczeniu dolegliwości bólowych*, Rehabilitacja w Praktyce, 4, 2012, 58-63.
- [76] Nikolova L., *Treatment with interferential current*, Churchill Livingstone, Edinburgh, London Melbourne, New York 1987.
- [77] Artykuł *Wadit Hochtontherapie*, pobrany ze strony internetowej <http://www.orthopaedie-lindlar.de/>, dostęp: 27.06.2013.
- [78] May H.U., *High Tone Power Therapy*, 6th Ann Intl Congress of Egyptian Society of Back Pain, Cairo, Egypt, 19-20 April 2006.
- [79] Strona internetowa: <http://www.hightonetherapy.com/>, dostęp: 27.06.2013.
- [80] Strona internetowa: <http://www.dr-med-may.de/>, dostęp: 27.06.2013.
- [81] Strona internetowa firmy GBO: <http://www.gbo-med.de/>, dostęp: 27.06.2013.
- [82] Patent US5573552 A Electrotherapeutic apparatus, Numer zgłoszenia: 08/392,866, Wynalazca: Achim Hansjurgens, Data publikacji: 12.11.1996.
- [83] Nowakowska I., Szymańska J., Witkoś J., Wodarska M., Kucharzewski M., Dembkowski M., *The influence of high tone power therapy on the peripheral microcirculation in the lower limbs*, Fizjoterapia, 17(4), 2009, 10-18.
- [84] Norma PN-EN 60601-2-10:2002/A1:2002, Medyczne urządzenia elektryczne, Część 2-10: Szczegółowe wymagania bezpieczeństwa stymulatorów nerwów i mięśni, 30.10.2002.
- [85] Dalziel C.F., *Deleterious Effect of Electric Shock*, Meeting of Experts on Electrical Accidents and Related Matters, Geneva 1961.
- [86] Dalziel C.F., *Electric shock hazard*, IEEE Spectrum, 9(2), 1972, 41-50.
- [87] May H.U., *High Tone Power Therapy - HiToP® - Theory and Practice*, Porto, March 2005 (prezentacja pobrana ze strony: <http://www.dr-med-may.de/> dostęp: 27.05.2013).
- [88] Milewska B., *Skrypt do przedmiotu biofizyka*, Politechnika Gdańska, 2009.
- [89] HiToP® 181-H – Service manual for the patient device, gbo Medizintechnik AG 2004, Version 1.3.
- [90] HiToP® High Tone Power Therapy – An Introduction, gbo Medizintechnik AG 2005, 017-7-0077.
- [91] HiToP 181-H - Instruction manual, gbo Medizintechnik, Version 1.7, 03.12.2012, 017-7-0009.

- [92] HiToP 191 – User manual, gbo Medizintechnik, Version 2.1, 16.02.2010.
- [93] Górecki P., *Uniwersalny generator*, Elektronika dla Wszystkich, 2001, 7, 13-19.
- [94] Górecki P., Generator przestrajany napięciem – wobulator. Część 1, Elektronika praktyczna, 7, 1994, 34-38.
- [95] Karta katalogowa układu XR2206 Monolithic Function Generator, Exar, Version 1.04, 2008.
- [96] Topór-Kamiński L., *Wielozaciskowe wzmacniacze operacyjne w układach oscylacyjnych*, Wydawnictwo Pomiar Automatyka Kontrola, Warszawa 2008.
- [97] Rhea W.R., *Oscillator Design and Computer Simulation*, Noble Publishing Corporation, Atlanta 1995.
- [98] Breitbarth J., *Octave Tuning, High Frequency Varactor Oscillator Design*, University of Colorado, Department of Electrical and Computer Engineering, 2001 (Master of Science thesis).
- [99] Viana W.F., Portela de Carvalho P.H., Bermudez L.A., *Oscillator Designer - CAD of Microwave Oscillators*, Journal of Microwaves and Optoelectronics, 1, 1999, 29-41.
- [100] Huertas J.L., Rodriguez-Vazques A., Perez-Verdu B., *High-frequency Design of Sinusoidal Oscillator Realized With Operational Amplifiers*, IEE Proceedings, 131(4), 1984, 137-140.
- [101] Chien G., *Low-Noise Local Oscillator Design Techniques using a DLL-based Frequency Multiplier for Wireless Applications*, University of California, Berkeley, 1999 (dissertation).
- [102] Zohios J., *Low-Noise RF Integrated Oscillator Design*, Ohio State University, 2002 (dissertation).
- [103] Topór-Kamiński L., *Wzmacniacze elektroniczne w układach aktywnych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [104] Topór-Kamiński L., *Elementy półprzewodnikowe i układy elektroniczne*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
- [105] Ciążyński W., *Elektronika w zadaniach. Tom 3 - Idealne wzmacniacze operacyjne*, Pracownia Komputerowa Jacka Skalmierskiego, 2001.
- [106] Jakubski B., *Wpływ próbkowania na parametry generatora wielofazowego o niestawnym kącie fazowym sygnału synchronizującego*, II Konferencja Naukowa KNWS'05, Informatyka - sztuka czy rzemiosło, Złotniki Lubańskie, 15-18.06.2005, 241-250.
- [107] Horowitz P., Hill W., *Sztuka elektroniki, cz. I*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2013.
- [108] Pióro B., Pióro M., *Podstawy elektroniki*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1997.
- [109] Strona internetowa firmy Texas Instruments, <http://www.ti.com/>, dostęp: 07.03.2014.
- [110] Strona internetowa firmy Exar, <http://www.exar.com/>, dostęp: 07.03.2014.
- [111] Strona internetowa firmy Analog Devices, <http://www.analog.com/>, dostęp: 07.03.2014.
- [112] Kubiak T., *Sterowanie napięciowe: czym się różni V/oct od Hz/V?*, Estrada i Studio, 5, 2003.
- [113] Kuta S., *Elementy i układy elektroniczne, cz. II*, Wydawnictwo AGH, Kraków 2000.
- [114] Vidal E., Poveda A., Ismail M., *Describing Function and Oscillators*, Circuits and Devices Magazine, IEEE, 17(6), 2001, 7-11.

- [115] Baranowski J., Czajkowski G., *Układy elektroniczne cz. II. Układy analogowe nieliniowe i impulsowe*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1994.
- [116] Gonzalez G., *Foundations of Oscillator Circuit Design*, Artech House Microwave Library, 2006.
- [117] Gelb A., Vander Velde W.E., *Multiple-input describing functions and nonlinear system design*, McGraw-Hill Book Company, New York 1996.
- [118] Lopez E.M.V., Lopez A.P., Salamero L.M., *Analysis and Designing of Active-R Oscillators*, Electronics Letters, 30, 1994, 375-377.
- [119] Vidal E., Poveda A., Martinez L., *Root Locus Analysis for Designing Active-R Oscillators*, Proceedings of the 37th Midwest Symposium on Circuits and Systems, 2, 1994, 1115-1118.
- [120] Vidal E., Poveda A., Alarcón E., *Analysis and Design of Active-R Oscillators Using the Current-Feedback OP-AMP*, Proceedings of the ECS/IEEE European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD97), Budapest, Hungary, 1997, 200-203.
- [121] Minaei S., Cicekoglu O., *New Current-Mode, All-Pass Section and Quadrature Oscillator Using Only Active Elements*, Circuits and Systems for Communications, Proceedings ICCSC/IEEE International Conference, St. Petersburg, Russia, 2002, 428- 431.
- [122] Klahan K., Tangsrirat W., Surakamponorn W., *Current-Mode Integrator Using OA and OTAs and its Applications*, Thammasat International Journal of Science and Technology, 8, 2003, 26-32.
- [123] Ciężyński W., *Elektronika analogowa w zadaniach. Tom 8 - Rzeczywiste wzmacniacze operacyjne w zastosowaniach*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012.
- [124] Jeżewski M., Leśnicki A., Niedźwiecki M., Rasiukiewicz M., Szkudliński W., *Przykłady analizy nieliniowych układów elektronicznych – Nieliniowe układy operacyjne i generatory drgań sinusoidalnych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.
- [125] Górecki P., *Wzmacniacze operacyjne, podstawy, aplikacje, zastosowania*, Wydawnictwo BTC, Warszawa 2004.
- [126] Lasok L., *Analiza układów elektronicznych*, Pracownia Komputerowa Jacka Skalmierskiego, 2005.
- [127] Matsuo H., Kurokawa F., Oshikata T., *A Digitally Controlled Three-Phase Active Filter with a Partially Resonant Circuit*, Proceedings of the Power Conversion Conference, Osaka, 2002, 806-809.
- [128] Górniak P., *Zastosowanie przetwornika DAC do cyfrowego przestrajania układów analogowych*, Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny, Gliwice 2007 (praca magisterska).
- [129] Płaza M., *Digitally Controlled Active Oscillator Designed by Admittance Matrix Method*, czasopismo Stowarzyszenia Elektryków Polskich „Elektronika”, Wydawnictwo Sigma Not, 6, 2011, 139-14.
- [130] Myczuda Z., Szcześniak Z., *Analiza parametrów układów elektronicznych*, Wydawnictwo Pomiaru Automatyka Kontrola, Warszawa 2011.
- [131] Topór-Kamiński L., Płaza M., *Analiza liniowa sterowanego cyfrowo oscylatora harmonicznego opartego na wzmacniaczach operacyjnych z integratorem funkcją przejścia*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria ELEKTRYKA, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 1(209), 2009, 29-36.

- [132] Topór-Kamiński L., Plaza M., *Bezpojemnościowy oscylator harmoniczny sterowany cyfrowo*, czasopismo Stowarzyszenia Elektryków Polskich „Elektronika”, Wydawnictwo Sigma Not, 10, 2008, 49-51.
- [133] Plaza M., *The Influence of the OPAMP Transfer Functions Model on the Properties of Active-R Oscillator*, XIIth IEEE-SPIE Joint Symposium on Photonics, Web Engineering, Electronics for Astronomy and High Energy Physics Experiments, Wilga, Poland, 25.05-1.06.2008.
- [134] Plaza M., *Oscylator harmoniczny sterowany cyfrowo projektowany w oparciu o transmitancje wzmacniaczy operacyjnych*, czasopismo Stowarzyszenia Elektryków Polskich „Elektronika- konstrukcje, technologie, zastosowania”, 3, 2011, 158-160.
- [135] Noga K.M., *Zastosowanie pakietu COMMSIM i MULTISIM w nauczaniu cyfrowego przetwarzania sygnałów*, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, 2, 2006, 129-134.
- [136] Strona internetowa: <http://www.skomp.pl/>, (artykuł: Technika cyfrowa a analogowa) dostęp: 10.01.2014.
- [137] Jakubik W., Urbańczyk M., *The electric al and mass effect in gas sensors of the SAW type*, Journal of Technical Physics, Polish Academy of Science, 38(3), 1997, 589-595.
- [138] Lepkowski J., *Designing RC oscillator circuits with low voltage operational amplifiers and comparators for precisions sensor applications*, Semiconductor Application Note, AND8054/D, Rev. 1., 02.2002.
- [139] Analog Devices Circuit Note CN-0156, *Amplitude Control Circuit for AD9834 Waveform Generator (DDS)*, Analog Devices Inc., Rev. A, 2010-2013.
- [140] Karta katalogowa układu AD9834, “20 mW Power, 2.3 V to 5.5 V, 75 MHz Complete DDS”, Analog Devices Inc., Rev. C, 2003-2011.
- [141] Analog Devices, Technical Tutorial on Digital Signal Synthesis, Analog Devices, Inc., 1999.
- [142] Analog Devices, Direct Digital Synthesis Tutorial Series, Analog Devices, Inc., <http://dkc1.digikey.com/>, dostęp: 01.03.2014.
- [143] Górecki P., *DDS Bezpośrednia synteza cyfrowa*, Elektronika dla Wszystkich, 4, 2000, 84-86.
- [144] Stępień R., *Syntezy DDS. Podstawy dla konstruktorów*, Wydawnictwo BTC, Legionowo 2011.
- [145] Przybysz R., *Cyfrowa regulacja amplitudy sygnału wyjściowego z układu cyfrowej syntezy częstotliwości*, czasopismo Stowarzyszenia Elektryków Polskich „Elektronika - konstrukcje, technologie, zastosowania”, 7, 2011, 47-51.
- [146] Sanz E., *AC Signal Offset and Amplitude Control Using a Dual Channel Multiplying DAC and a Single I/V Converter*, Analog Devices Application Note, AN-1107, 2011.
- [147] Odell R.H. Jr., Sorgnard R.E., *New Technique Combines Electrical Currents and Local Anesthetic for Pain Management*, Practical Pain Management, 7, 2011, 52-68.
- [148] Cernak C., Marriott E., Martini J., Fleischmann J., Silvani B., McDermott M.T., *Electric Current and Local Anesthetic Combination Successfully Treats Pain Associated With Diabetic Neuropathy*, Practical Pain Management, 4, 2012, 23-36.
- [149] Milne R.D., Sorgnard R.E., *Quantum Theory Underpins Electromagnetic Therapies for Pain Management*, Practical Pain Management, 1/2, 2013, 1-7.
- [150] Strona internetowa firmy Neurogenx, <http://www.neurogenx.com/>, dostęp: 17.05.2014.

- [151] Odell R.H. Jr., Sorgnard R.E., May H.U., *Electroanalgesic Nerve Block*, Practical Pain Management, 2006, 4, 1-8.
- [152] Geddes L., Baker L., Moore A., Coulter T., *Hazards in the use of low frequencies for the measurement of physiological events by impedance*, Medical & Biological Engineering, 7, 1969, 289-296.
- [153] Strona internetowa firmy Atmel, <http://www.atmel.com/>, dostęp: 10.10.2013.
- [154] Karta katalogowa układu Atmega644/V, Numer: 2593O-AVR-02/12, "8-bit AVR Microcontroller with 64KBytes In-System Programmable Flash, Atmel Corporation, 2012.
- [155] Nota aplikacyjna numer AVR151, "Setup And Use of The SPI, AVR 8-bit RISC microcontrollers", Atmel Corporation, Rev. Rev. 2585C-AVR-07/08, 2008.
- [156] Nota aplikacyjna numer AN-1070, "Programming the AD9833/AD9834", Analog Devices, 2010.
- [157] Czaja Z., *Mikrokontrolery i mikrosystemy, materiały do wykładu, Tom II, Mikrosystemy elektroniczne*, Politechnika Gdańska, WETiI, Gdańsk 2010.
- [158] Zieliński T.P., *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów od teorii do zastosowań*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2005.
- [159] Karta katalogowa układu LTC1562-2, "Very Low Noise, Low Distortion Active RC Quad Universal Filter", Linear technology, 1998.
- [160] Nota aplikacyjna numer AN-837, Brandon D., Gentile K., DDS-Based Clock Jitter Performance vs. DAC Reconstruction Filter Performance, Analog Devices, 2006.
- [161] Karta katalogowa układu AD5620/AD5640/AD5660, "Single, 12-/14-/16-Bit nanoDAC™ with 5 ppm/°C On-Chip Reference in SOT-23", Analog Devices Inc., Rev. G, 08.2013.
- [162] Płaza M., *Chosen Models of VCVS Having Parameters Set Digitally*, Proceedings of SPIE, 7124, 2008 (doi: 10.1117/12.817952).
- [163] Płaza M., *Analysis of Chosen Voltage Controlled Voltage Source Having Parameters Set Digitally*, CEEPUS CII-CZ-0031-03-0708 Summer School 2008 - Automatic Control for the 21st Century, Split, Croatia, 29.06-13.07.2008.
- [164] Bouchaala D., Chen X., Shi Q., Kanoun O., Derbel N., *Comparative study of voltage controlled current sources for bioimpedance measurements*, 9th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices (SSD)", Hammamet, Tunisia, 20-23.03.2012, 1-6.
- [165] Bouchaala D., Shi Q., Chen X., Kanoun O., Derbel N., *A high accuracy voltage controlled current source for handheld bioimpedance measurement*, 10th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)", Hammamet, Tunisia, 18-21.03.2013, 1-4.
- [166] Bouchaala D., Fendri A., Kanoun O., *Handheld Bioimpedance Spectrometer for the Total Frequency Range of the β -Dispersion*, AMA Conferences - Proceedings SENSOR, Nürnberg, Germany, 14.05.2013, 175-180.
- [167] Bouchaala D., Kanoun O., Derbel N., *Portable Bioimpedance Spectrometer for Total Frequency Range of β -Dispersion*, tm - Technisches Messen, 80(11), 2013, 373-378.
- [168] Gomez Abad D., *Development of a Capacitive Bioimpedance Measurement System*, RWTH Aachen University, Helmholtz-Institute For Biomedical Engineering, 2009.
- [169] Gwóźdź M., *A power electronics controlled current source based on a double-converter topology*, Archives of Electrical Engineering, 63(3), 2014, 335-344.

-
- [170] Jinhong L., Zhiyuan Z., Gang W., Chao H., Yong Y., *The hardware system of Body Impedance Measurement*, IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA), 6-8.06.2011, 581-584, (DOI: 10.1109/ICINFA.2011.5949061).
- [171] Karta katalogowa układu PA8585A, “High Voltage Power Operational Amplifiers”, Apex Microtechnology, 2012.

Przetwarzanie sygnałów w elektroterapii

W monografii usystematyzowano wiedzę z zakresu najnowszych osiągnięć medycyny fizykalnej oraz stanu techniki generatorów wykorzystywanych w zastosowaniach elektroterapeutycznych. Przeprowadzono analizę rozwiązań komercyjnych w istniejących aparatach elektroterapeutycznych, ze szczególnym uwzględnieniem urządzeń terapii energotonowej. Przedstawiono metody analizy opracowanych modeli układów generatorów drgań harmonicznym sterowanych analogowo oraz cyfrowo, z uwzględnieniem konieczności jednoczesnej modulacji wartości częstotliwości oraz wartości amplitudy wytwarzanych drgań. Na podstawie wykonanych analiz, symulacji, jak również rzeczywistych badań wybranych modeli układów generatorów drgań harmonicznym rozwinięto znane teoretyczne i praktyczne zasady przetwarzania sygnałów, mające ważne znaczenie naukowo-badawcze, polegające na stworzeniu nowych modeli, algorytmów i urządzeń w celu podwyższenia jakości elektroterapii. Szczególną uwagę zwrócono na praktyczną realizację i weryfikację opracowanej metody dla wybranego modelu generatora drgań harmonicznym sterowanego cyfrowo.

W publikacji przedstawiono autorskie rozwiązanie systemu przetwarzania sygnałów, który może być potencjalnie wykorzystywany w zastosowaniach elektroterapeutycznych. W prezentowanych badaniach szczególną uwagę zwrócono na układ elektroniczny oraz algorytmy sterowania bloku generacyjnego występującego w strukturze proponowanego systemu. Omawiane w monografii rozwiązanie, wykorzystujące programowalne układy, poprawia dokładność kształtowania nieliniowej krzywej wrażliwości pacjenta na prąd terapeutyczny, umożliwiając uzyskanie lepszych właściwości fizykoterapeutycznych.

Signal processing in electrotherapy

The monograph systematizes knowledge of the latest developments in physical medicine and the technical state of generators used in electrotherapeutic applications. An analysis of commercial solutions in existing electrotherapeutic devices was carried out, with particular emphasis on the energy-tone therapy devices.

The monograph presents analysis of developed models of harmonic generators controlled analogously and digitally, accounting for the necessity of simultaneous modulation of the frequency and amplitude value of vibrations generated. Based on the analysis performed, simulations as well as experimental tests of selected models of harmonic generator systems were conducted, well-known theoretical and practical principles of signal processing have been developed, which have significance in scientific research and consisted of creating new models, algorithms and devices to increase the quality of electrotherapy. Particular attention was paid to the practical implementation and verification of the developed method for a selected model of a digitally controlled harmonic generator.

The monograph presents author's solution of the signal processing system, with a potential application in electrotherapy. In the presented research particular attention was paid to the electronic system and control algorithms of the generating block present in the structure of the proposed system. The solution utilizes programmable systems discussed in the monograph improves the accuracy of shaping the non-linear curve of the patient's sensitivity to the therapeutic current, enabling better physical and therapeutic properties.