

5. Yu. Kondratenko et. al. Information system for automatic planning of liquid ballast distribution / Proceedings of the 2nd International Workshop on Information Communication Technologies & Embedded Systems (ICTES 2020) Mykolaiv, Ukraine, 2020. pp. 191-200. <http://ceur-ws.org/Vol-2762/paper13.pdf>
6. Zivenko O. LPG accounting specificity during its storage and transportation // Measuring Equipment and Metrology, Issue №3 (80), 2019, pp. 21-27. <https://doi.org/10.23939/istcmtm2019.03.021>
7. Y. D. Zhukov, B. N. Gordeev and A. V. Zivenko, "Polymetric sensing of intelligent robots," 2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS), 2013, pp. 880-884, DOI: <https://doi.org/10.1109/IDAACS.2013.6663053>.
8. Zhukov Yu. D. et. al. Intelligent Polymetric Systems Industrial Applications / Proceedings of the 2nd International Workshop on Information-Communication Technologies & Embedded Systems (ICTES 2020) Mykolaiv, Ukraine, 2020. pp. 122-137. <http://ceur-ws.org/Vol-2762/paper8.pdf>
9. Рівнеміри для рідин MIRA+. AMICO Digital. Visited 10.09.2022. Available at <https://digitalamico.com/level-sensor/>.
10. Zhukov Yu. et. al. Correction technique for guided wave radar LPG level measurement sensors / Zhukov Yu., Zivenko A., Gudyma I., Raieva A. // «Shipbuilding & Marine Infrastructure», №2(12), 2019, p. 27-34. [https://doi.org/10.15589/smi2019.2\(12\).3](https://doi.org/10.15589/smi2019.2(12).3)
11. New Class of Hydrogen Ship Design Will Revolutionize Renewables Market. Visited 20.09.2022. Available at <https://c-job.com/new-class-of-hydrogen-ship-design-will-revolutionize-renewables-market/>
12. C-Job Naval Architects Ammonia as Marine Fuel Research Nominated for Maritime Designer Award. Visited 24.09.2022. Available at <https://c-job.com/press/c-job-naval-architects-ammonia-as-marine-fuel-research-nominated-for-maritim-designer-award/>.

УДК 621.314.26

**АНАЛІЗ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ,
ЩО ПРАЦЮЄ НА ПЛАЗМОВУ ДУГУ**

Верещаго Є.М.

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри морського приладобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
yevgen.vereshchago@nuos.edu.ua*

Костюченко В.І.

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри суднових електроенергетичних систем
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
vitalii.kostiuchenko@nuos.edu.ua*

Виконано аналіз роботи стабілізованого перетворювача постійного струму, що працює на плазмову дугу. Отримано частотні характеристики вхідного та вихідного опорів та передавальних функцій Г-подібного LC-фільтра, навантаженого на активний опір навантаження.

Ключові слова: фільтр; імпеданс; комплексне навантаження.

У сучасних передових сферах науки, техніки та промисловості широко застосовуються електроплазмові та зварювальні технології, в яких використовується низькотемпературна плазма (пристрої з негативним диференціальним опором). Великий клас таких пристроїв становлять плазмотрони постійного струму. Найчастіше використовуються плазмотрони для різання матеріалів, нагрівання газу, як плазмові системи запалення в камерах згоряння газотурбінних двигунів різного призначення і т.д. [1-3].

Дослідження та синтез систем електроживлення, що працюють на дугове навантаження з негативним диференціальним опором, є не тільки практичним, а й теоретичним інтересом, є важливою та актуальною науково-прикладною проблемою.

Схема заміщення системи живлення для електродугового навантаження, що включає навантажений LC -фільтр, коригуючий пристрій (КП), модулятор (М), що реалізує ШІМ-2, імпульсний перетворювач (ІП), що формує на вході фільтра імпульси з амплітудою напруги живлення $nU_{вх}$ комутаційною функцією k_F модулятора і датчиків напруги ДН і струму ДС з коефіцієнтами k_d і $R_{ДС}$ відповідно зображена на рис. 1, де для спільності показано опір R , включений паралельно конденсатору вихідного фільтра. На рис. 1 i – джерело струму, що розглядається як збурення (зміна) струму навантаження. Опір r_Σ включає як вихідні опори перетворювача і випрямляча, так і омичні втрати дроселя фільтра. При цьому опір втрат може залежати від частоти [4-7]. Навантаження (газорозрядний проміжок) є джерелом напруги U_0 і динамічний опір $R_{дф0}$.

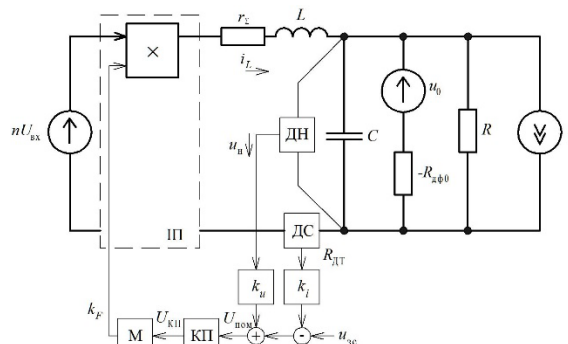


Рис. 1. Схема заміщення замкнутої структури системи електроживлення дугового навантаження із негативним диференціальним опором

Перетворювач на схемі представлений у вигляді силового чотириполіусника з інформаційним керованим входом (рис. 1) [5, 6]. Тут n , як завжди, $w_{21} / w_1 = w_{22} / w_1$. Коефіцієнт передачі модулятора ІП, який у нашому випадку визначений як $k_F(t)$, якщо сигнал помилки не залежить від часу визначається співвідношенням:

$$k_{ШІМ} = T / U_m,$$

де U_m – амплітуда (розмах) дробової функції (пилкоподібної напруги), T – період розгортки.

Зазвичай $R \gg r_\Sigma$ (зокрема R відсутня, тобто $R \rightarrow \infty$).

Позначивши за допомогою $Z_H(s)$ операторний опір паралельного з'єднання C і $R_{дф0}$:

$$Z_H(s) = -R_{дф0} / (1 - sR_{дф0}C) = -R_{дф0} / (-\tau s + 1), \tau > 0$$

отримаємо наступний вираз ПФ вихідного LC -фільтра за напругою

$$\begin{aligned} K(s) &= \frac{Z_H(s)}{Z_{вх}(s)} = \frac{Z_H(s)}{r_\Sigma + sL + Z_H(s)} = \frac{k_\phi}{s^2 k_\phi LC + s \left(\frac{L}{r_\Sigma - R_{дф0}} + R_{екв} C \right) + 1} = \\ &= \frac{k_\phi}{T_\phi^2 s^2 + 2\xi_\phi T_\phi s + 1} = \frac{k_\phi}{T_\phi^2 [(s + \alpha_\phi)^2 + \omega_\phi^2]}, \end{aligned}$$

де $\tau = R_{\text{дф0}}C > 0$ – стала часу ланцюга вихідного конденсатора; $R_{\text{екв}} = r_{\Sigma} \parallel (-R_{\text{дф0}})$; $k_{\phi} = -R_{\text{дф0}} / (-R_{\text{дф0}} + r_{\Sigma}) > 0$ – коефіцієнт передачі фільтра на постійному струмі; $Z_{\text{вх}}(s)$ – вхідний операторний опір регулятора при $R = \infty$ у режимі безперервного струму; T_{ϕ} і ξ_{ϕ} – постійна часу та коефіцієнт демпфування фільтра.

Для схеми рис. 1 рівняння, що визначає струм у дроселі фільтра:

$$Z(s)\tilde{i}_L = nD\tilde{u}_{\text{вх}} + nU_{\text{вх}}\tilde{d} + Z_{\text{н}}(s)\tilde{i} - (Z_{\text{н}}(s)/R_{\text{дф0}})\tilde{u}_0,$$

$$\text{де } Z(s) = Z_{\text{н}}(s)/K(s) = \frac{R_{\text{дф0}}[s^2k_{\phi}LC + s\left(\frac{L}{r_{\Sigma} - R_{\text{дф0}}} + R_{\text{екв}}C\right) + 1]}{k_{\phi}(-\tau s + 1)}; \text{ знак «}\sim\text{» показує}$$

нескінченно малу зміну змінної щодо значення в періодичному режимі; $d = 2t_{\text{н}}/T$ – коефіцієнт заповнення; D – значення коефіцієнта заповнення у встановленому (періодичному) режимі.

Висновки

1. Обґрунтовано безперервну модель системи з урахуванням її особливостей.
2. Частотні характеристики вхідного та вихідного опорів та передавальні функції Г-подібного LC-фільтра, навантаженого на активний опір навантаження $-R_{\text{дф0}}$, будуть застосовані при формуванні технічного завдання на проектування джерела живлення для оцінки стійкості системи «ПП-дуга» та раціонального розрахунку вхідних фільтрів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Верещаго Е.Н., Костюченко В.И. Моделирование источников питания для электроплазменных и сварочных технологий / *LAP Lambert Academic Publishing*, 2022, 112 с. ISBN 978-620-4-73940-3.
2. Анахов С.В. Принципы и методы проектирования в электроплазменных и сварочных технологиях. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2014. – 144 с.
3. Соколов О.И. Инверторные источники питания для дуговой сварки. М.: МГИУ, 2008. – 72 с.
4. Белов Г.А. Малинин Г.В. Математическое моделирование и исследование динамики импульсных преобразователей. – *Электричество*, 2008, №6, с. 40-52.
5. Белов Г.А. Динамика импульсных преобразователей. – Чебоксары: Изд-во ЧТУ. 2001. – 528 с.
6. Герман-Галкин С.Г. Виртуальные лаборатории полупроводниковых систем в среде *MATLAB-Simulink*: Учебник. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 448 с.
7. Лурье М.С., Лурье О.М. Имитационное моделирование схем преобразовательной техники. – Красноярск: СибГТУ, 2007. – 138 с.

Analysis Of A Dc Converter Working On A Plasma Arc

Eugen Vereshchago Vitalii Kostiuchenko

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,

The analysis of a stabilized DC converter operating on a plasma arc is carried out. The frequency characteristics of the input and output resistances and the transfer functions of the L-shaped LC filter loaded on the active resistance of the load are obtained.

Keywords: filter, impedance, complex load.