

Pemanfaatan Operasi Aljabar Dalam Penyelesaian Masalah Analisis Rangkaian Listrik

Rey William Tambun^{1*}, Tahir Sitanggang², Yudi Tamba³

^{1,2,3} Universitas Negeri Medan

E-mail: reywilliamtambun@gmail.com

Article Info

Article history:

Received 9 Maret 2026

Revised 10 Maret 2026

Accepted 11 Maret 2026

Keywords:

Operasi aljabar
Analisis rangkaian listrik
Sistem persamaan linear
Hukum Kirchhoff
Matematika teknik

ABSTRACT

Matematika memiliki peran penting dalam teknik elektro, khususnya dalam analisis rangkaian listrik yang melibatkan hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan. Salah satu konsep yang banyak digunakan dalam proses tersebut adalah operasi aljabar, karena memungkinkan persoalan rangkaian direpresentasikan ke dalam bentuk model matematis yang sistematis. Artikel ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan operasi aljabar dalam penyelesaian masalah analisis rangkaian listrik serta menjelaskan peranannya dalam mempermudah proses perhitungan dan penyusunan model matematis. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi literatur, dengan sumber data berupa buku teks teknik elektro, buku matematika teknik, dan artikel ilmiah yang relevan. Hasil kajian menunjukkan bahwa operasi aljabar berperan penting dalam penyelesaian persamaan yang dihasilkan dari penerapan Hukum Ohm dan Hukum Kirchhoff, baik melalui metode eliminasi, substitusi, maupun pendekatan matriks dalam analisis node dan analisis mesh. Pemanfaatan operasi aljabar tidak hanya membantu penyelesaian rangkaian listrik secara lebih sistematis, tetapi juga mendukung pengembangan metode analisis modern dalam bidang teknik elektro. Oleh karena itu, pemahaman yang baik terhadap operasi aljabar sangat penting untuk meningkatkan kemampuan analisis dalam penyelesaian masalah rangkaian listrik. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan melalui simulasi atau pendekatan eksperimental agar diperoleh pembahasan yang lebih aplikatif.

Copyright © 2026 Akiratech Journal

All rights reserved

DOI : <https://doi.org/10.63935/akiratech.v3i1.289>

Corresponding Author:

Rey William Tambun,

Universitas Negeri Medan

Email: reywilliamtambun@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Matematika merupakan ilmu fundamental yang memiliki peran penting dalam berbagai bidang rekayasa, khususnya dalam teknik elektro. Dalam proses analisis maupun perancangan sistem kelistrikan, konsep-konsep matematika digunakan untuk menjelaskan hubungan antara besaran listrik seperti tegangan, arus, dan hambatan dalam suatu rangkaian. Salah satu konsep matematika yang banyak dimanfaatkan dalam proses tersebut adalah operasi aljabar, terutama yang berkaitan dengan penyelesaian persamaan linear dan manipulasi simbolik. Melalui penerapan operasi aljabar, fenomena kelistrikan dapat direpresentasikan dalam bentuk model matematis sehingga proses analisis rangkaian dapat dilakukan secara lebih sistematis dan terstruktur [1].

Analisis rangkaian listrik pada dasarnya bertujuan untuk menentukan nilai arus, tegangan, serta daya yang terdapat pada setiap komponen dalam suatu rangkaian. Proses tersebut umumnya dilakukan dengan memanfaatkan hukum-hukum dasar dalam kelistrikan, seperti Hukum Ohm serta Hukum Kirchhoff yang meliputi Kirchhoff's Current Law (KCL) dan Kirchhoff's Voltage Law (KVL). Penerapan hukum-hukum tersebut akan menghasilkan sejumlah persamaan aljabar yang harus diselesaikan untuk memperoleh parameter listrik yang diinginkan. Dalam praktiknya, metode analisis rangkaian seperti metode node dan metode mesh memanfaatkan sistem persamaan linear yang penyelesaiannya dilakukan dengan berbagai teknik aljabar maupun pendekatan matriks [2].

Perkembangan teknologi elektronika dan sistem tenaga listrik yang semakin kompleks menuntut adanya metode analisis rangkaian yang lebih efektif dan terstruktur. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa

pendekatan berbasis aljabar linear dan metode matriks mampu menyederhanakan proses penyelesaian rangkaian listrik yang melibatkan banyak variabel serta persamaan yang saling berkaitan. Pendekatan tersebut tidak hanya meningkatkan efisiensi perhitungan, tetapi juga menjadi dasar bagi pengembangan berbagai perangkat lunak analisis rangkaian yang banyak digunakan dalam bidang teknik elektro saat ini [3].

Namun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada pengembangan metode komputasi atau simulasi dalam analisis rangkaian listrik. Kajian yang secara khusus membahas keterkaitan antara konsep operasi aljabar dengan proses penyelesaian analisis rangkaian listrik masih relatif terbatas. Selain itu, dalam proses pembelajaran teknik elektro masih ditemukan bahwa banyak mahasiswa mengalami kesulitan dalam menghubungkan konsep matematika, khususnya operasi aljabar, dengan penerapannya dalam analisis rangkaian listrik. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara pemahaman konsep matematis dengan penerapannya dalam penyelesaian permasalahan teknik [4].

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu kajian yang lebih sistematis mengenai pemanfaatan operasi aljabar dalam penyelesaian masalah analisis rangkaian listrik. Oleh karena itu, artikel ini bertujuan untuk mengkaji peran operasi aljabar dalam penyusunan dan penyelesaian model matematis pada analisis rangkaian listrik, khususnya yang berkaitan dengan sistem persamaan linear yang diperoleh dari penerapan hukum-hukum dasar rangkaian. Secara teoretis, penelitian ini diharapkan dapat memperkuat pemahaman mengenai keterkaitan antara konsep matematika dan bidang teknik elektro. Selain itu, secara praktis pembahasan ini diharapkan dapat membantu mahasiswa maupun praktisi dalam memahami serta menerapkan metode aljabar secara lebih efektif dalam menyelesaikan berbagai permasalahan rangkaian listrik.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi literatur (*literature review*) atau kajian teoritis. Metode ini dipilih karena penelitian berfokus pada analisis konsep mengenai pemanfaatan operasi aljabar dalam penyelesaian masalah analisis rangkaian listrik berdasarkan teori dan penelitian yang telah dipublikasikan sebelumnya. Melalui pendekatan studi literatur, peneliti dapat mengkaji serta membandingkan berbagai konsep yang berkaitan dengan operasi aljabar dan penerapannya dalam analisis rangkaian listrik secara lebih sistematis dan komprehensif [5].

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber pustaka yang relevan dengan topik penelitian. Sumber data meliputi buku teks teknik elektro, buku matematika teknik, serta artikel ilmiah yang membahas analisis rangkaian listrik, hukum-hukum dasar kelistrikan, sistem persamaan linear, metode node, metode mesh, serta penggunaan pendekatan aljabar dan matriks dalam penyelesaian rangkaian listrik. Literatur yang digunakan dipilih berdasarkan kesesuaian topik, kredibilitas sumber, serta relevansinya terhadap tujuan penelitian. Proses pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran literatur, seleksi sumber yang relevan, serta pencatatan informasi penting yang berkaitan dengan penggunaan operasi aljabar dalam analisis rangkaian listrik [6].

Data yang telah diperoleh kemudian dianalisis menggunakan teknik analisis deskriptif kualitatif. Tahapan analisis meliputi reduksi data, pengelompokan konsep, interpretasi teori, serta penyusunan sintesis informasi sesuai dengan fokus penelitian. Pada tahap ini, peneliti mengkaji bagaimana operasi aljabar digunakan dalam pembentukan persamaan matematis, proses penyederhanaan bentuk aljabar, serta penyelesaian sistem persamaan yang muncul dalam analisis rangkaian listrik. Analisis juga mencakup penerapan Hukum Ohm, Hukum Kirchhoff, serta penggunaan metode matriks dalam menyelesaikan persoalan rangkaian listrik. Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan mampu memberikan penjelasan yang lebih sistematis mengenai peranan operasi aljabar dalam mempermudah proses analisis rangkaian listrik, baik dalam konteks pembelajaran maupun dalam penerapan teknik elektro [7].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Konsep Operasi Aljabar dalam Matematika Teknik

Operasi aljabar merupakan salah satu konsep dasar dalam matematika yang digunakan untuk melakukan manipulasi terhadap simbol, variabel, dan konstanta melalui operasi dasar seperti penjumlahan, pengurangan, perkalian, serta pembagian. Dalam matematika teknik, operasi aljabar sering dimanfaatkan untuk menyelesaikan berbagai bentuk persamaan yang muncul dalam proses pemodelan sistem fisika maupun sistem rekayasa, termasuk pada sistem kelistrikan. Bentuk persamaan yang paling umum digunakan adalah persamaan linear dan sistem persamaan linear yang memungkinkan hubungan antara beberapa variabel dinyatakan dalam bentuk matematis sehingga proses analisis dapat dilakukan secara lebih sistematis dan terstruktur [1].

Dalam bidang teknik elektro, penggunaan operasi aljabar juga berkaitan dengan berbagai teknik penyelesaian persamaan, seperti metode eliminasi, metode substitusi, serta pendekatan matriks yang digunakan untuk menyelesaikan beberapa persamaan secara bersamaan. Pendekatan tersebut sangat penting karena rangkaian listrik yang lebih kompleks umumnya menghasilkan sejumlah persamaan yang saling berkaitan.

Rey William Tambun: Pemanfaatan Operasi Aljabar Dalam...

Dengan demikian, pemahaman yang baik mengenai operasi aljabar dapat membantu proses perhitungan menjadi lebih terstruktur dan efisien. Metode aljabar dalam analisis rangkaian listrik juga menjadi dasar penting bagi berbagai teknik analisis modern yang digunakan dalam sistem kelistrikan [2].

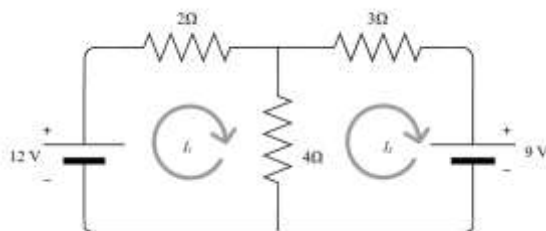
3.2. Penerapan Operasi Aljabar dalam Analisis Rangkaian Listrik

Operasi aljabar memiliki peran yang sangat penting dalam analisis rangkaian listrik karena digunakan untuk menyusun, menyederhanakan, dan menyelesaikan persamaan matematis yang berasal dari hukum-hukum dasar kelistrikan. Dalam analisis rangkaian, besaran seperti arus, tegangan, dan hambatan saling berhubungan melalui Hukum Ohm serta Hukum Kirchhoff. Hubungan tersebut sering kali menghasilkan sistem persamaan linear yang harus diselesaikan dengan bantuan operasi aljabar seperti penjumlahan, pengurangan, substitusi, dan eliminasi.

Selain penjelasan konseptual mengenai hukum-hukum dasar kelistrikan, penerapan operasi aljabar dalam analisis rangkaian juga dapat ditunjukkan melalui contoh perhitungan langsung pada rangkaian sederhana.

3.2.1. Contoh Kasus Analisis Rangkaian dengan Operasi Aljabar

Ditinjau sebuah rangkaian dua loop seperti pada gambar berikut.



Gambar 1. Rangkaian dua loop dengan resistor bersama untuk contoh penyelesaian aljabar.

Pada rangkaian tersebut:

loop 1 memiliki sumber tegangan 12 V dan hambatan 2 Ω ,

loop 2 memiliki sumber tegangan 9 V dan hambatan 3 Ω ,

terdapat hambatan bersama sebesar 4 Ω yang dilalui oleh kedua arus mesh.

Arus mesh didefinisikan sebagai:

I_1 = arus pada loop 1

I_2 = arus pada loop 2

Berdasarkan Hukum Kirchhoff Tegangan (KVL), jumlah aljabar dari semua tegangan dalam satu loop tertutup adalah nol.

a. Persamaan pada Loop 1

Untuk loop 1, persamaan KVL dapat dituliskan sebagai:

$$12 - 2I_1 - 4(I_1 - I_2) = 0$$

Persamaan tersebut disederhanakan menjadi:

$$12 - 2I_1 - 4I_1 + 4I_2 = 0$$

$$12 - 6I_1 + 4I_2 = 0$$

$$6I_1 - 4I_2 = 12$$

b. Persamaan pada Loop 2

Untuk loop 2, persamaan KVL dapat dituliskan sebagai:

$$9 - 3I_2 - 4(I_2 - I_1) = 0$$

Kemudian disederhanakan menjadi:

$$9 - 3I_2 - 4I_2 + 4I_1 = 0$$

$$9 + 4I_1 - 7I_2 = 0$$

$$4I_1 - 7I_2 = -9$$

Dengan demikian diperoleh sistem persamaan linear dua variabel:

$$\begin{aligned} 6I_1 - 4I_2 &= 12 \\ 4I_1 - 7I_2 &= -9 \end{aligned}$$

c. Penyelesaian dengan Metode Eliminasi

Untuk menentukan nilai I_1 dan I_2 , digunakan metode eliminasi.

Kalikan persamaan pertama dengan 2:

$$12I_1 - 8I_2 = 24$$

Kalikan persamaan kedua dengan 3:

$$12I_1 - 21I_2 = -27$$

Kurangkan persamaan kedua dari persamaan pertama:

$$\begin{aligned} (12I_1 - 8I_2) - (12I_1 - 21I_2) &= 24 - (-27) \\ 13I_2 &= 51 \\ I_2 &= \frac{51}{13} = 3,92 \text{ A} \end{aligned}$$

Selanjutnya, nilai I_2 disubstitusikan ke persamaan pertama:

$$\begin{aligned} 6I_1 - 4(3,92) &= 12 \\ 6I_1 - 15,68 &= 12 \\ 6I_1 &= 27,68 \\ I_1 &= \frac{27,68}{6} = 4,61 \text{ A} \end{aligned}$$

d. Hasil Perhitungan

Berdasarkan proses perhitungan di atas, diperoleh:

- $I_1 = 4,61 \text{ A}$
- $I_2 = 3,92 \text{ A}$

Hasil ini menunjukkan bahwa arus pada loop 1 lebih besar daripada arus pada loop 2. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh besar sumber tegangan dan kombinasi hambatan pada masing-masing loop.

e. Analisis Peran Operasi Aljabar

Contoh di atas menunjukkan bahwa operasi aljabar berperan langsung dalam menyederhanakan persamaan yang diperoleh dari hukum-hukum dasar kelistrikan menjadi bentuk sistem persamaan linear. Dalam proses tersebut digunakan berbagai operasi aljabar, seperti penjumlahan dan pengurangan suku, distribusi perkalian, penyederhanaan persamaan, eliminasi, dan substitusi variabel. Melalui langkah-langkah tersebut, nilai arus yang semula belum diketahui dapat ditentukan secara sistematis.

Dengan demikian, operasi aljabar tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu hitung, tetapi juga sebagai dasar logis dalam menyusun model matematis dari suatu rangkaian listrik. Penyelesaian contoh kasus ini memperlihatkan bahwa analisis rangkaian listrik sangat bergantung pada kemampuan mengubah persoalan fisik menjadi model matematis, kemudian menyelesaikannya dengan teknik aljabar yang tepat.

Berdasarkan contoh tersebut, dapat dipahami bahwa operasi aljabar merupakan unsur yang tidak terpisahkan dari proses analisis rangkaian listrik karena digunakan untuk menyusun, menyederhanakan, dan menyelesaikan persamaan yang muncul dari model rangkaian.

3.2.2. Analisis Hasil dan Keterkaitannya dengan Operasi Ajabar

Hasil perhitungan pada contoh rangkaian menunjukkan bahwa operasi aljabar tidak hanya digunakan untuk memperoleh nilai arus pada masing-masing loop, tetapi juga membantu menjelaskan hubungan antarvariabel dalam sistem rangkaian. Nilai $I_1 = 4,61 \text{ A}$ dan $I_2 = 3,92 \text{ A}$ diperoleh melalui proses penyusunan persamaan, penyederhanaan bentuk aljabar, serta penyelesaian sistem persamaan linear dengan metode eliminasi dan substitusi. Hal ini menunjukkan bahwa konsep aljabar memiliki peran penting dalam mengubah persoalan fisik pada rangkaian listrik menjadi model matematis yang dapat dianalisis secara sistematis.

Pada rangkaian sederhana seperti contoh dua loop di atas, metode eliminasi dan substitusi masih efektif digunakan karena jumlah variabel yang terlibat masih sedikit dan proses penyelesaiannya dapat dilakukan secara manual. Metode ini juga membantu dalam memahami langkah demi langkah pembentukan persamaan dari Hukum Kirchhoff Tegangan. Dengan demikian, penggunaan eliminasi dan substitusi sangat sesuai untuk menunjukkan penerapan dasar operasi aljabar dalam analisis rangkaian listrik.

Namun, apabila rangkaian yang dianalisis memiliki jumlah loop, node, atau variabel yang lebih banyak, penyelesaian secara manual dengan eliminasi dan substitusi menjadi kurang efisien. Pada kondisi tersebut, metode matriks lebih tepat digunakan karena dapat menyusun sistem persamaan ke dalam bentuk yang lebih ringkas, teratur, dan mudah diolah. Pendekatan ini sangat membantu dalam analisis rangkaian yang lebih kompleks, terutama ketika jumlah persamaan yang harus diselesaikan semakin banyak.

Berdasarkan hal tersebut, dapat dipahami bahwa operasi aljabar memiliki peran yang luas dalam analisis rangkaian listrik. Pada rangkaian sederhana, operasi aljabar dasar seperti penjumlahan, pengurangan, eliminasi, dan substitusi sudah cukup untuk memperoleh solusi. Sementara itu, pada rangkaian yang lebih kompleks, operasi aljabar dapat dikembangkan ke bentuk yang lebih sistematis melalui metode matriks. Dengan kata lain, operasi aljabar tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu hitung, tetapi juga sebagai dasar berpikir logis dalam menyusun dan menyelesaikan model matematis rangkaian listrik.

Contoh kasus yang telah dibahas juga memperlihatkan bahwa teori operasi aljabar yang dijelaskan sebelumnya benar-benar dapat diterapkan secara nyata dalam penyelesaian persoalan rangkaian listrik. Oleh karena itu, pembahasan mengenai metode matriks pada subbagian berikutnya dapat dipahami sebagai pengembangan dari prinsip yang sama, tetapi digunakan untuk menyelesaikan persoalan yang tingkat kompleksitasnya lebih tinggi.

3.3 Penggunaan Sistem Persamaan Linear dan Metode Matriks

Seiring dengan meningkatnya kompleksitas rangkaian listrik, penyelesaian sistem persamaan secara manual seringkali menjadi kurang efisien. Oleh karena itu, metode aljabar yang lebih terstruktur seperti metode matriks banyak diterapkan dalam analisis rangkaian listrik modern. Dalam pendekatan ini, sistem persamaan linear yang diperoleh dari penerapan hukum Kirchhoff direpresentasikan dalam bentuk matriks sehingga dapat diselesaikan menggunakan teknik aljabar linear seperti eliminasi Gauss atau metode invers matriks (Bebikhov et al., 2019).

Pendekatan matriks tidak hanya membantu menyederhanakan proses perhitungan, tetapi juga menjadi dasar dalam pengembangan berbagai perangkat lunak analisis rangkaian, seperti MATLAB, SPICE, serta berbagai perangkat simulasi teknik lainnya. Dengan menggunakan metode ini, perhitungan arus dan tegangan pada rangkaian yang kompleks dapat dilakukan dengan lebih cepat dan akurat. Selain itu, pendekatan matriks juga membantu mahasiswa maupun praktisi teknik elektro dalam memahami hubungan antar variabel dalam suatu rangkaian listrik secara lebih sistematis.

3.4 Manfaat Operasi Aljabar dalam Penyelesaian Masalah Rangkaian Listrik

Operasi aljabar memiliki peran yang sangat penting dalam meningkatkan pemahaman terhadap analisis rangkaian listrik. Melalui operasi aljabar, hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan matematis yang lebih terstruktur. Hal ini membantu mahasiswa atau pembelajar teknik elektro untuk memahami bahwa penyelesaian rangkaian listrik tidak hanya bergantung pada konsep fisika, tetapi juga pada kemampuan mengolah bentuk matematis secara tepat.

Pemahaman terhadap operasi aljabar juga memudahkan dalam menerapkan hukum-hukum dasar kelistrikan, seperti Hukum Ohm, Hukum Kirchhoff Arus, dan Hukum Kirchhoff Tegangan. Dengan menguasai operasi aljabar, seseorang dapat menyusun persamaan, menyederhanakan bentuk matematika, serta menentukan nilai variabel yang belum diketahui secara lebih sistematis. Kemampuan ini menjadi dasar penting dalam mempelajari analisis node, analisis mesh, maupun metode matriks pada rangkaian yang lebih kompleks.

Selain itu, operasi aljabar juga melatih cara berpikir logis dan runtut dalam menyelesaikan persoalan teknik. Setiap langkah dalam penyelesaian rangkaian, mulai dari identifikasi variabel, pembentukan persamaan, hingga penentuan solusi, memerlukan ketelitian dan pemahaman aljabar yang baik. Oleh sebab itu, penguasaan operasi aljabar tidak hanya mendukung kemampuan berhitung, tetapi juga memperkuat kemampuan analitis dalam bidang teknik elektro.

Dengan demikian, operasi aljabar dapat dipandang sebagai salah satu fondasi penting dalam pembelajaran analisis rangkaian listrik. Semakin baik pemahaman seseorang terhadap operasi aljabar, maka semakin mudah pula ia memahami dan menyelesaikan berbagai persoalan rangkaian listrik, baik yang sederhana maupun yang lebih kompleks.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa operasi aljabar memiliki peran fundamental dalam proses analisis rangkaian listrik karena memungkinkan hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan direpresentasikan dalam bentuk model matematis yang sistematis. Penerapan

operasi aljabar terutama terlihat pada penyusunan dan penyelesaian sistem persamaan linear yang diperoleh dari penerapan Hukum Ohm serta Hukum Kirchhoff dalam analisis rangkaian listrik.

Hasil kajian menunjukkan bahwa teknik-teknik aljabar seperti metode eliminasi, metode substitusi, dan pendekatan matriks merupakan metode yang umum digunakan dalam menyelesaikan persamaan rangkaian, khususnya pada analisis node dan analisis mesh. Pendekatan tersebut tidak hanya membantu menyederhanakan proses perhitungan pada rangkaian yang melibatkan banyak variabel, tetapi juga menjadi dasar bagi berbagai metode analisis rangkaian modern yang digunakan dalam bidang teknik elektro.

Dengan demikian, pemahaman yang baik terhadap konsep operasi aljabar sangat penting untuk mendukung kemampuan analisis dalam menyelesaikan permasalahan rangkaian listrik secara lebih sistematis dan efisien. Penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena hanya menggunakan pendekatan studi literatur. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat dikembangkan melalui pendekatan simulasi maupun eksperimen sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih aplikatif terhadap analisis sistem kelistrikan yang lebih kompleks.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam penyusunan artikel ini sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. V. Bebhikov, A. S. Semenov, and I. A. Yakushev, "The application of mathematical simulation for solution of linear algebraic and ordinary differential equations in electrical engineering," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 643, no. 1, Art. no. 012067, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/643/1/012067.
- [2] V. Duriš, A. G. Chertanovskiy, S. G. Chumarov, and A. V. Kartuzov, "Calculation of electric circuits using the fast Kirchhoff method," 2022.
- [3] S. Tykhovod and I. Orlovskiy, "Development and research of method in the calculation of transients in electrical circuits based on polynomials," 2022.
- [4] B. J. Skromme, Q. Wang, P. Rayes, J. M. Quick, R. K. Atkinson, and T. Frank, "Teaching linear circuit analysis techniques with computers," in *Proc. ASEE Annual Conference & Exposition*, 2013, doi: 10.18260/1-2--22531.
- [5] J. W. Creswell and J. D. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, 5th ed. Thousand Oaks, CA, USA: SAGE Publications, 2018.
- [6] U. A. Bakshi and A. V. Bakshi, *Network Analysis and Synthesis*. Pune, India: Technical Publications, 2020.
- [7] J. D. Irwin and R. M. Nelms, *Basic Engineering Circuit Analysis*, 8th ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2007.
- [8] F. Dörfler, J. W. Simpson-Porco, and F. Bullo, "Electrical networks and algebraic graph theory: Models, properties, and applications," *Proceedings of the IEEE*, vol. 106, no. 5, pp. 977–1005, 2018.
- [9] R. Riaza and J. Torres-Ramírez, "Non-linear circuit modelling via nodal methods," *International Journal of Circuit Theory and Applications*, vol. 33, no. 6, pp. 531–545, 2005, doi: 10.1002/cta.321.
- [10] M. F. Nejad, H. Farahani, and R. Nuraci, "A novel linear algebra-based method for complex interval linear systems in circuit analysis," *Heliyon*, vol. 10, 2024.
- [11] C. K. Alexander and M. N. O. Sadiku, *Fundamentals of Electric Circuits*, 6th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2017.
- [12] W. H. Hayt, J. E. Kemmerly, and S. M. Durbin, *Engineering Circuit Analysis*, 8th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2012.
- [13] G. Strang, *Linear Algebra and Its Applications*, 4th ed. Belmont, CA, USA: Brooks/Cole, 2006.
- [14] A. S. Sedra and K. C. Smith, *Microelectronic Circuits*, 7th ed. New York, NY, USA: Oxford University Press, 2015.
- [15] D. C. Lay, S. R. Lay, and J. J. McDonald, *Linear Algebra and Its Applications*, 5th ed. Boston, MA, USA: Pearson, 2016.