

ACADEMIA DE ȘTIINȚE A MOLDOVEI
INSTITUTUL DE INGINERIE ELECTRONICĂ
ȘI NANOTEHNOLOGII “D. GHIȚU”

Cu titlu de manuscris

C.Z.U: 621.3.011.7: 621.314.1: 621.316: 514.8

PENIN ALEXANDRU

GEOMETRIA PROIECTIVĂ ÎN TEORIA
CIRCUITELOR ELECTRICE CU SARCINI
VARIABLE ȘI NELINIARE

233.02 Echipamente și sisteme electronice

Referatul științific al tezei de doctor
habilitat în tehnică în baza lucrărilor publicate

Chișinău 2017

Teza a fost elaborată în "Laboratorul Criogenie" al Institutului de Inginerie Electronică și Nanotehnologii "D. Ghițu" al AȘM

Consultant științific: SIDORENKO Anatolie, dr. hab. în șt. fiz.-mat., prof. univ., mem. cor. al AȘM.

Referenți oficial:

MAEVSCHII Dmitrii, dr. hab. în teh., prof. univ., Universitatea Politehnica Națională din Odesa, Ucraina.

SEMENKO Anatolie, dr. hab. în teh., prof. univ., Universitatea Telecomunicații de Stat din Kiev, Ucraina.

CHIORSAC Mihai, dr. hab. în teh., prof. univ.

Membrii consiliului științific specializat DH 03-233.02-01:

1. **POSTOLATI Vitalii, președinte**, dr. hab. în teh., academician al AȘM
2. **TÎRȘU Mihai, secretar științific**, dr. în teh., conf. cerc., director al Institutului de Energetică al AȘM
3. **OLESCIUK Valentin**, dr. hab. în teh., conf. cerc.
4. **ERMURAȚCHII Vladimir**, dr. hab. în teh., conf. cerc.
5. **OSADCIUK Alexandru**, dr. hab. în teh., prof. univ.,
Universitatea Tehnică Națională din Vinița, Ucraina
6. **ERHAN Teodor**, dr. hab. în teh., prof. univ.
7. **ARION Valentin**, dr. hab. în teh., prof. univ.
8. **CATARANCIUC Sergiu**, dr. hab. în șt. fiz.-mat., prof. univ.

Susținerea va avea loc la 9 februarie 2017, ora 15⁰⁰, în ședința Consiliului științific specializat DH 03-233.02-01 din cadrul Institutului de Energetică, str. Academiei 5, MD-2028, Chișinău, Republica Moldova.

Referatul științific poate fi consultat la Biblioteca Științifică Centrală a Academiei de Științe a Moldovei și pe pagina Web a C.N.A.A. (www.cnaa.md).

Referatul științific a fost expediat la 05 ianuarie 2017 .

Secretar științific al Consiliului științific specializat
DH 03-233.02-01 dr. în teh., conf. Cerc.



Tîrșu Mihai

Consultant științific
dr. hab. în șt. fiz.-mat., prof. univ., mem. cor.



Sidorenko Anatolie

Autor, dr. în teh.



Penin Alexandru

CUPRINS

ADNOTAREA (ROMÂNĂ, RUSĂ, ENGLEZĂ).....	5
LISTA ABREVIERILOR.....	8
INTRODUCERE.....	9

1. PARTICULARITĂȚILE CIRCUITELOR CU REGIM DE LUCRU

ALTERNATIV. TRECEREA ÎN REVISTĂ A LITERATURII.....	14
--	----

1.1. Construirea și particularitățile regimurilor de lucru ale

sistemelor de distribuire a energiei.....	14
---	----

1.2. Particularitățile analizei circuitelor.....

1.3. Neajunsurile unor metode de analiză cunoscute.....

1.3.1. Circuit cu o singură sarcină - dipol activ.....	17
--	----

1.3.2. Cvadripol activ cu două sarcini.....	19
---	----

1.3.3. Teorema variației parametrilor circuitului liniar	20
--	----

1.3.4. Convertoare (regulatoare) a tensiunii de sarcină cu sursă de tensiune de putere limitată.....	21
---	----

1.4. Concluzii la Capitolul 1.....	24
------------------------------------	----

2. GEOMETRIA PROIECTIVĂ ȘI CIRCUITELE ELECTRICE.....

2.1. Sensul și locul metodei geometriei proiective în teoria circuitelor.....	26
---	----

2.2. Informații necesare despre geometria proiectivă.....	27
---	----

2.3. Interpretarea geometrică a caracteristicilor

grafice ale circuitelor.....	31
------------------------------	----

2.4. Tipuri de circuite și structura obiectivelor.....	38
--	----

2.5. Concluzii la Capitolul 2.....	40
------------------------------------	----

3. APLICAREA METODEI GEOMETRICE LA	
CIRCUITE REZISTIVE.....	41
3.1. Multipoli activi	41
3.1.1. Coordonatele proiective. Recalcularea curenților de sarcină.....	41
3.1.2. Rezistență internă variabilă	46
3.1.3. Sarcini specificate. Modificarea conductibilității în linia	
comună de alimentare.....	49
3.2. Multipoli pasivi	50
3.3. Concluzii la Capitolul 3.....	51
4. APLICAREA METODEI GEOMETRICE LA	
CONVERTORUL DE TENSIUNE CU CARACTERISTICI DE	
FUNCȚIONARE NELINIARE.....	52
4.1. Convertorul de tensiune cu o sarcină.....	52
4.1.1. Reglarea tensiunii de sarcină.....	52
4.1.2. Stabilizarea tensiunii de sarcină.....	53
4.1.3. Consumator de puterea constantă.....	55
4.1.4. Convertor de impuls de ridicare	58
4.2. Două convertoare de tensiune cu sursa de tensiune cu putere limită.....	60
4.4. Concluzii la Capitolul 4.....	62
CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI	63
BIBLIOGRAFIE	64
DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII	69
CURRICULUM VITAE.....	70
PUBLICAȚIILE LA TEMATICA TEZEI.....	71

ADNOTARE

La referatul științific al tezei lui Penin A. “ Geometria proiectivă în teoria circuitelor electrice cu sarcini variabile și neliniare”, prezentată pentru gradul de doctor habilitat în tehnică (bazată pe lucrări științifice publicate), Chișinău, 2017.

Referatul științific conține o introducere, patru capitole, concluzii generale și recomandări, 92 referințe bibliografice, 72 de pagini de text de bază, 56 de figuri. Rezultatele obținute sunt publicate în 45 lucrări științifice, inclusiv 2 monografii, 2 capitole în cărți, 20 articole în reviste internaționale, 4 articole în cele naționale, 8 lucrări la conferințele internaționale și regionale, 8 brevete de invenție naționale.

Cuvinte cheie: circuit electric, multipol, convertor de tensiune, sarcină, caracteristica volt-ampere și de reglare, parametri normalizați, transformări proiective, raport anarmonic.

Domeniul de studiu: Bazele teoretice ale electrotehnicii, electronică de putere.

Scopul și obiectivele: cercetarea "mecanismului" de interferență a elementelor circuitului cu utilizarea prevederilor geometriei proiective, dezvăluirea unor proprietăți suplimentare și elaborarea în bază aceasta a metodei de calcul a parametrilor regimului circuitelor electrice.

Noutatea și originalitatea științifică a acestui studiu constă în: metoda propusă de analiză a circuitului bazată pe geometria proiectivă; justificarea determinării parametrilor regimului de circuite în mod relativ; justificarea și formularea unei noi direcții științifice.

O nouă direcție științifică: caracteristicile de grup ale regimurilor de lucru variabile a circuitelor, invariante referitor la tipul parametrilor regimului și la porțiunea de circuit.

Semnificația teoretică a lucrării constă în: aplicarea de noi instrumente matematice pentru interpretarea caracteristicilor de lucru a circuitelor; determinarea parametrilor regimului de circuit sub forma relativă; formule de recalculare a parametrilor regimului, generalizarea generatorului echivalent.

Semnificația practică a lucrării constă în: utilizarea algoritmilor convenabile de recalculare a regimurilor de circuit, schemelor simplificate de substituție a circuitului inițial.

Implimentarea rezultatelor științifice constă în: elaborarea soluțiilor tehnice (brevete) pentru transmiterea semnalelor de măsurare prin liniile de comunicație; punerea în aplicare a surselor de curent parametric; liniarizarea caracteristicilor de reglare a convertoarelor de tensiune.

АННОТАЦИЯ

К научному реферату диссертации Пенина А. А. «Проективная геометрия в теории электрических цепей с переменными и нелинейными нагрузками», представленной на соискание ученой степени доктора хабилитат технических наук (на основе опубликованных научных работ), Кишинев, 2017. Научный реферат содержит введение, четыре главы, общие выводы и рекомендации, 92 ссылки, 72 страниц основного текста, 56 рисунков. Полученные результаты опубликованы в 45 научных работах, включая 2 монографии, две главы в книгах, 20 статей в международных журналах, 4 статьи в национальных, 8 докладов на международных и национальных конференциях, 8 национальных патентов.

Ключевые слова: электрическая цепь, многополюсник, преобразователь напряжения, нагрузка, вольт – амперная и регулировочная характеристика, нормированные параметры, проективные преобразования, сложное отношение.

Область исследования: теоретическая электротехника, силовая электроника.

Цель и задачи: исследование «механизма» взаимовлияния элементов цепи с использованием положений проективной геометрии, раскрытии дополнительных свойств цепей и разработка на этой основе метода расчета параметров режима цепей.

Научная новизна и оригинальность настоящего исследования состоит в: предложенном методе анализа цепей на основе проективной геометрии; обосновании определения параметров режима цепей в относительном виде; формулировании сути нового научного направления.

Новое научное направление: групповые характеристики изменяемых режимов работы цепей, инвариантные к виду параметров режима и участкам цепи.

Теоретическая значимость работы состоит в: применении математического аппарата для интерпретации рабочих характеристик цепей; определении параметров режима цепей в относительном виде; формулах перерасчета параметров режима; обобщении эквивалентного генератора.

Практическая значимость работы состоит в: удобных алгоритмах перерасчета режимов цепи; упрощенных схемах замещения исходной цепи.

Реализация научных результатов состоит в: разработке технических решений (патентов) для передачи измерительных сигналов через линии связи; создания параметрических источников тока; линеаризации регулировочных характеристик преобразователей напряжения.

ABSTRACT

Of the scientific review of the habilitate doctor thesis “Projective geometry in the electrical circuit theory with variable and nonlinear loads.” in technic (based on published articles), presented by A. Penin, Chisinau, 2017. The review contains Introduction, 4 Chapters, General conclusions and recommendations, 92 references, 72 pages, 56 figures. The 45 scientific works were published, including two monographs, two books chapters, 20 research articles in international scientific journals, 4 articles in national journals, 8 abstracts in proceedings/books of international or national conferences and 8 national patents.

Keywords: electrical circuit, multi-port, voltage converter, load, volt-ampere and regulation characteristic, normalized parameters, projective transformations, cross ratio.

Field of research: electric circuit theory, power electronics.

The aim and objectives of the work consists in: the research of interference's „mechanism” of circuit's elements using projective geometry, disclose of supplementary properties of the circuits and elaboration the calculation method of regime parameters.

The scientific novelty and originality of the research consists in: offered method of the analysis of circuits on the basis of projective geometry; justification of determination of regime parameters in a relative type; justification and a formulation of the new scientific direction.

The New scientific direction: group characteristics of changeable operating regimes of circuits, which are invariant to a type of the regime parameters and sections of circuits.

The theoretic value of the research consists in: the application of a new mathematical apparatus in the electric circuit theory for interpretation of changes or “kinematics” of electric circuits' regimes; determination of regime parameters in a relative type; recalculation formulas of regime parameters; generalization of the equivalent generator.

The practical value of the research consists in: the convenient recalculation algorithms of loads' currents; the simplified equivalent circuits of an initial network.

Implementation of scientific results consists in: development of original technical solutions (patents) for transfer of measuring signals via communication lines; elaboration of parametrical sources of load current; linearization of regulation characteristics of voltage converters.

LISTA ABREVIERILOR

1. *CT* – convertorul de tensiune
2. *CVI* – caracteristicilor curent- tensiune
3. *MG*– regimul de mers în gol
4. *SC*– scurtcircuit
5. *CPC* – consumator de puterea constantă

INTRODUCERE

Relevanța și importanța subiectului tezei

Sistemele de alimentare cu energie electrică de diferită destinație (sisteme numerice și de telecomunicații, aparataj și instrumente de control, instalații tehnologice, sisteme de automatizare și telemecanică, sisteme de pază și altele), de obicei, reprezintă o structură distribuită (microrețea). Astfel de sisteme includ surse de energie (de baza și de rezervă), acumulatori de energie (de exemplu, acumulator, supercondensator), sarcini și respectivele convertoare de tensiune. Toate elementele menționate sunt racordate la linia de alimentare comună sau principală. În calitate de sursă de energie se folosesc, de asemenea, surse de energie regenerabile.

Sistemul de alimentare cu linie comună de curent continuu posedă un șir de avantaje în comparație cu linia de curent alternativ. Aceste avantaje se obțin datorită parametrilor înalți ale convertoarelor de tensiune, ca elemente ale electronicii de putere. Dacă sistemul de alimentare este unit cu rețeaua centrală de curent alternativ, atunci se folosesc invertori de tensiune. Pentru sarcinile de tensiune joasă sunt utilizate stabilizatoare cu impulsuri sau liniare situate aproape de sarcină.

Pentru analiza și modelarea (de pildă în *Matlab*) a funcționării sistemului de alimentare sunt necesare modele matematice ale surselor de tensiune, convertoarelor de tensiune, acumulatorilor, sarcinilor și, înșuși a circuitului. În particular, convertoarele de tensiune stabilizate (cu putere constantă a sarcinii) se comportă ca consumator de putere constantă sau ca sarcini neliniare, pentru tensiunea de alimentare variabilă.

Analiza regimurilor de lucru este una din principalele probleme ale teoriei circuitelor. Determinarea valorilor reale (absolute) și indicatorilor specifici (coeficientul de transfer a tensiunii, de putere) este problema tipică a analizei, ce include și indicatorii energetici. De aceea, se utilizează caracteristicile statice ale elementelor componente. În acest sens, așa sistem de alimentare reprezintă un circuit de curent continuu complicat, cu un număr definit de surse de tensiune de o putere limitată și sarcini. Convertoarele de tensiune sunt transformatoare de curent continuu. Rețeaua rezistivă determină pierderile convertoarelor de tensiune și circuitelor de alimentare. Astfel, convertoarele de tensiune, în cazul surselor de alimentare cu energie limitată, prezintă ambiguitate de reglare a caracteristicilor tensiune-curent de intrare. De asemenea, se observă interferența sarcinii la limitarea puterii de sarcină.

Pentru determinarea eficacității sistemului de alimentare este necesar de a compara valorile reale ale parametrilor regimului curent și valorile reale sau maxime (ca scară), adică a le prezenta în formă normalizată sau relativă. În acest caz, crește conținutul informațional al parametrilor regimului, se pot aprecia caracteristicile calitative ale regimului curent, pot fi

comparate regimurile diferitor sisteme. De pildă, valoarea tensiunii la mersul în gol și curentul de scurtcircuit vor fi scările respective ale tensiunii și curentului de sarcină. Dar interacțiunea sarcinilor schimbă toate aceste posibile scări. Asemănător, schimbarea parametrilor regimului de “n ori” sau “procente”, poate fi determinată prin diferența și/sau raportul (sau într-un alt mod) ale valorilor inițiale și ulterioare. În acest sens, pentru caracteristicile de reglare se impune o problemă asemănătoare - schimbarea justificată a regimului în raport cu valorile maxime, permise în intervalul de lucru unic.

În general, calculul regimurilor de lucru curente este legat de pierderi semnificative de timp. De aceea, pentru circuitele rezistive sunt propuse formule comode de calcul a pierderilor. De asemenea, se elaborează metode de modelare și calcul mult mai rapide (analogice, combinate).

Pe de altă parte, utilizarea numai a sistemelor de calcul computerizate nu indică sensul fizic și „mecanismul” de interacțiune al elementelor circuitului. Prin urmare, folosirea principiilor de bază ale teoriei circuitelor electrice, luând în considerare sarcinile variabile (teorema generatorului echivalent al circuitului activ, corelațiile liniare între curent și tensiune, teorema variației curenților și rezistențelor) permit înțelegerea atât a proceselor de interacțiune a elementelor circuitului, cât și a metodelor de analiză mai simple.

Cu toate acestea, cele mai cunoscute metode de analiză și calcul nu sunt suficient de perfecționate și nu dezvăluie proprietățile utile în practică ale circuitelor testate. Prin urmare, este necesar un studiu mai aprofundat al proprietăților circuitelor electrice cu regimuri variabile de lucru, ceea ce este conținutul unei noi direcții științifice.

O nouă direcție științifică: *caracteristicile de grup ale regimurilor de lucru variabile a circuitelor, invariante relativ tipului parametrilor regimului și porțiunii de circuit.*

Scopul principal al lucrării

Cercetarea „mecanismului”, interacțiunii elementelor circuitului, folosind geometria proiectivă, și elaborarea în baza acestora a metodei de calcul a parametrilor reali și normalizați ai regimurilor circuitelor electrice liniare și convertoarelor de tensiune cu caracteristici neliniare (două valori) în regimuri variabile cvasi-staționare.

Principalele obiective, orientate spre atingerea scopului

- a analiza metodele cunoscute de normalizare a parametrilor regimului și metodele de recalcul;
- a propune clasificarea circuitelor electrice, a argumenta modelele matematice (geometrice) după tipul de circuit; regimul de lucru și numărul de sarcini;

- a descoperi noi tipuri (suplimentare) caracteristice ai regimurilor, in afară celor tipice (regimurile *MG*, *SC*);
- a argumenta indicatorii regimului invariant la tipul parametrilor regimului și porțiunile circuitului;
- a elabora metoda de recalculare a curenților sarcinilor la schimbarea sarcinilor și parametrilor circuitului rezistiv.
- a dezvolta cunoscuta metodă a generatorului echivalent;
- a cerceta rapoartele invariante intare-ieșire a multipolilor;
- a argumenta metodologia determinării intervalului de lucru unic al regimurilor de lucru a convertoarelor de tensiune cu caracteristici cu două valori;
- a propune expresii pentru schimbarea indicatorilor regimului (legile reglării) convertoarelor de tensiune cu două și mai multe sarcini .

Metodele și mijloacele de cercetare

Pentru soluționarea obiectivelor propuse, au fost utilizate principiile de bază ale teoriei circuitelor electrice, electronicii de putere (tehnicii de convertire) și instrumentele matematice noi pentru teoriile circuitului, - geometria proiectivă și hiperbolică. Pentru calcule si modelare au fost aplicate sistemele matematice *Maple*, *Matlab* și sistemul de proiectare schematică *ORCAD*.

Noutatea științifică

- justificarea și formularea, în esență, a direcției științifice noi - caracteristici de grup ale regimurilor de lucru variabile ale circuitelor, invariante la tipul parametrilor regimului și la porțiunile de circuit;
- metoda propusă de analiză a circuitelor de curent continuu și convertoarelor de tensiune, bazată pe geometria proiectivă și subgrupurile ei;
- utilizarea familiei caracteristicilor de lucru ale circuitelor pentru identificarea tuturor punctelor regimurilor caracteristice, justificarea generatorului echivalent generalizat;
- formularea cerințelor pentru determinarea parametrilor regimului circuitului în mod relativ și ținând cont de punctele specifice ale regimului, independente la tipul variabilelor și la porțiunile de circuit și deducerea formulelor de recalculare ai parametrilor regimului.

Semnificația teoretică

- aplicarea originală nouă a instrumentelor matematice în teoria circuitelor electrice pentru interpretarea caracteristicilor de lucru ale circuitelor;
- determinarea parametrilor regimului circuitului în formă relativă, invariantă la tipul de variabile și porțiuni de circuit;

- deducerea formulelor de recalculare ai parametrilor regimului, introducerea unui generator echivalent generalizat;
- propunerea metodei de determinare a intervalului de lucru univoc a convertoarelor standard de tensiune cu caracteristici neliniare cu două valori.

Valoarea practică a lucrării

- utilizarea expresiilor relative pentru analiză, definirea și compararea regimurilor circuitelor;
- elaborarea soluțiilor tehnice originale (brevete) pentru transmiterea semnalelor de măsurare prin legături multiple ale liniei cu pierderi;
- formule simple și convenabile de recalculare a regimurilor circuitului;
- utilizarea generatorului echivalent generic pentru simplificarea calculelor circuitului și elaborarea de soluții tehnice originale (brevete) pentru punerea în aplicare a surselor parametrice de curent;
- elaborarea soluțiilor tehnice originale (brevete) pentru liniarizarea caracteristicilor de reglare a convertorului de tensiune de impuls de ridicare și inversiune;
- expresiile propuse pentru organizarea controlului convertoarelor de tensiune cu caracteristici neliniare.

Rezultatele științifice principalele înaintate spre susținere

1. Analiza detaliată a metodelor cunoscute de determinare a parametrilor regimului de funcționare în mod relativ untr-un șir de circuite de curent continuu standard și convertoarelor de tensiune;
2. Folosirea principiilor geometriei proiective pentru interpretarea caracteristicilor tensiune-curent a circuitelor liniare de curent continuu și convertoarelor de tensiune cu caracteristici tensiune-curent neliniare și de reglare;
3. Clasificarea circuitelor electrice, modelelor geometrice și structura problemei în funcție de tipul circuitelor rezistive, regimurilor convertoarelor de tensiune și numărul de sarcini;
4. Determinarea și utilizarea regimurilor caracteristice (degenerate) suplimentare;
5. Determinarea parametrilor regimului în formă relativă cu un sistem de puncte al regimurilor caracteristice, invariante la tipul variabilelor și porțiunile de circuit;
6. Determinarea formulelor de recalculare ai parametrilor regimului la schimbarea sarcinii și parametrilor circuitului;
7. Conceptul unui circuit echilibrat cu trei sau mai multe sarcini;
8. Generatorul echivalent modificat sau generic;
9. Utilizarea relațiilor invariante de intrare - ieșire a multipolurilor;
10. Conceptul factorului de încărcare a surselor de tensiune conectate în paralel.

Aprobarea rezultatelor științifice

Materialele lucrării au fost prezentate la următoarele conferințele științifice și tehnice internaționale și regionale din Moldova:

1. The 3rd International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering ICNBME-2015, Sept. 23-26, 2015, Chisinau, Moldova.
2. The 5th International Conference on Telecommunications, Electronics and Informatics ICTEI- 2015, May 20-23, 2015, Chisinau, Moldova.
3. The 8th International Conference on Microelectronics and Computer Science: The 50th anniversary of Technical University of Moldova ICMCS-2014, Oct. 22-25, 2014, Chisinau, Moldova.
4. The 4th International Conference on Telecommunications, Electronics and Informatics ICTEI- 2012, May 17-20, 2012, Chisinau, Moldova.
5. The 20th Conference on Applied and Industrial Mathematics dedicated to academician Mitrofan M. Ciobanu CAIM-2012, Aug 22- 25, 2012, Chisinau, Moldova.
6. The 7th International Conference on Microelectronics and Computer Science, ICMCS-2011, Sept 22-24, 2011, Chisinau, Moldova.
7. Conferința Fizicienilor din Moldova CFM-2014, Oct 22-25, 2014, Chisinau, Moldova.
8. Conferința Fizicienilor din Moldova CFM-2012, Oct 24-26, 2012, Belti, Moldova.

Publicății

În baza cercetărilor efectuate au fost publicate 45 lucrări științifice:

2 monografii, 2 capitole în cărți, 24 articole în reviste recenzate (AȘ din Rusia, reviste internaționale (un articol în reviste cu factor de impact) dintre ele 18 articole fără co-autori), 8 lucrări la conferințele internaționale și regionale, 8 brevete de invenție. Publicațiile sunt enumerate în bibliografie.

Structura referatului științific

Referatul științific conține o introducere (caracteristica generală de lucru), patru capitole, concluzii generale și recomandări. Lucrarea este alcătuită din 72 de pagini de text, conține 56 figuri, 92 referințe bibliografice.

Cuvinte cheie: circuit electric, multipol activ, convertor de tensiune, sarcină, calcularea curenților, caracteristica tensiune-curent și de reglare, parametri normalizați ai regimului, geometria proiectivă, raport anarmonic, proiecție stereografică, plan conformal, geometria hiperbolică.

1. PARTICULARITĂȚILE CIRCUITELOR CU REGIM DE LUCRU ALTERNATIV. TRECEREA ÎN REVISTĂ A LITERATURII

1.1. Construirea și particularitățile regimurilor de lucru ale sistemelor de distribuire a energiei

Sistemele de alimentare cu energie electrică de diferită destinație (sisteme numerice și de telecomunicații, aparataj de control și măsurări, instalații tehnologice, sisteme de automatizare și telemecanica, sisteme de pază și altele) de obicei reprezintă o structură distribuită (microrețea). Astfel de sisteme includ surse de energie (de bază și de rezervă), acumuloare de energie (de exemplu, acumulator, supercondensator), sarcini și respectivele convertoare de tensiune CT . Toate elementele menționate sunt racordate la linia de alimentare comună sau principală [1-7]. În calitate de sursă de energie se folosesc, de asemenea, surse de energie regenerabile [8-14]. Sistemul tipic de alimentare electrică distribuit (în continuare - sistem de alimentare) este prezentat în figura 1.1. Controlerul de dirijare și monitorizare (în figura 1.1 nu este indicat) este cuplat cu toate elementele sistemului.

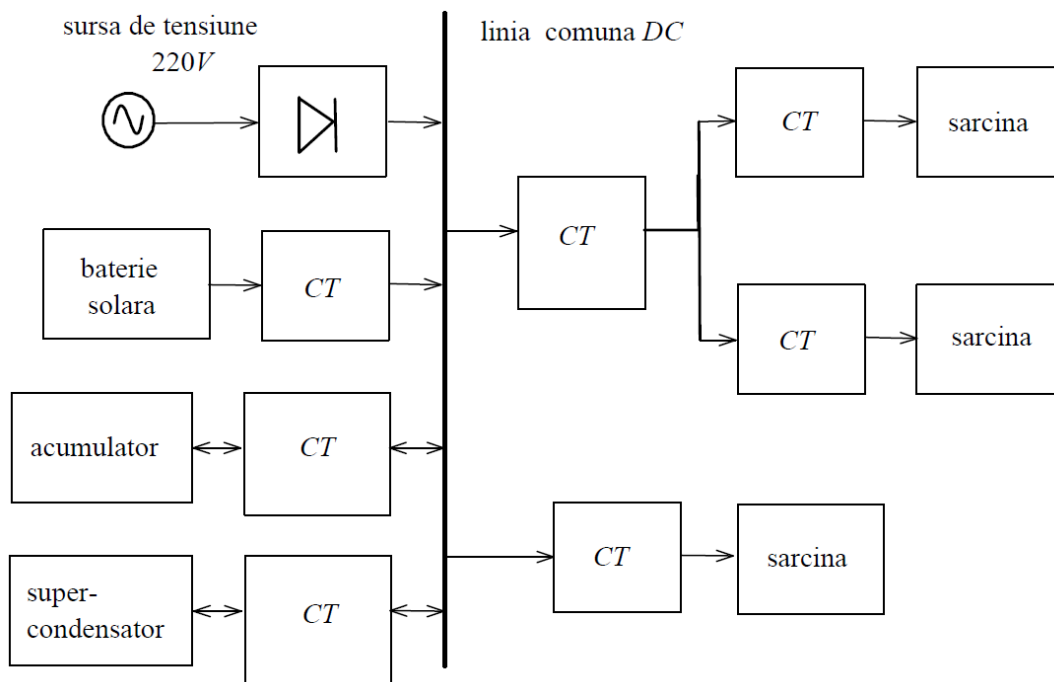


Fig.1.1. Sistemul tipic de alimentare electrică distribuit.

Sistemul de alimentare cu linie comună de curent continuu DC posedă un șir de avantaje în comparație cu linia de curent alternativ [15-17]. Aceste avantaje se obțin datorită parametrilor CT înalți ca elemente ale electronicii de putere [18, 19]. Dacă sistemul de alimentare este unit cu rețeaua centrală de curent alternativ, atunci se folosesc invertori de tensiune [20, 21]. Ca sarcini de tensiune joasă sunt folosite stabilizatoare cu impulsuri sau liniare aproape de sarcină [22, 23]. Bateria solară se folosește cu convertorul sau regulatorul de căutare a punctului de putere maximă [24-27].

Pentru analiza și modelarea (de pildă în *Matlab*) lucrului sistemului de alimentare sunt necesare modele matematice ale surselor de tensiune, CT , a acumulatorilor, sarcinilor și, însuși a circuitului [28-31]. În particular, CT stabilizat cu sarcina de putere constantă se comportă ca consumator de putere constantă CPC sau ca sarcini neliniare pentru tensiunea de alimentare variabilă. Prin urmare, apare problema asigurării stabilității [32-34]. De asemenea, starea stabilității determină puterea maximă a câtorva sarcini la alimentarea de la o sursă de tensiune cu putere limitată [35]. Pentru asigurarea stabilității se aplică dirijarea coordonată a elementelor circuitului [36-39]. Una dintre variantele de dirijare coordonată este un control de predicție [40, 41].

1.2. Particularitățile analizei circuitelor

Analiza regimurilor de lucru este una din principalele probleme ale teoriei circuitelor [42-45]. Descoperirea valorilor reale (absolute) și indicatorilor specifici (coeficientul de transfer a tensiunii, de putere) este problema tipică a analizei [46, 47] (inclusiv indicatorii energetici) a sistemului de alimentare, prezentat în figura 1.1. De aceea, se utilizează caracteristicile statice ale elementelor componente [48-50]. În această legătură, așa sistem de alimentare reprezintă un circuit complicat de curent continuu, cu un număr definit de surse de tensiune de o putere limitată și sarcini, prezentat în figura 1.2. Convertoarele de tensiune DC/DC sunt transformatoare de curent continuu. Rețeaua rezistivă determină pierderile CT și circuitelor de alimentare. Astfel, convertoarele de tensiune, în cazul surselor de alimentare cu energie limitată, prezintă ambiguitate de reglare a caracteristicilor tensiune-curent de intrare. De asemenea, se observă interferența sarcinii la limitarea puterii de sarcină.

Pentru determinarea eficacității sistemului de alimentare este necesar de a compara valorile reale ale parametrilor regimului curent și valorile reale sau maxime (ca scară), adică a le reprezenta în formă normalizată sau relativă [51, 52]. În cazul dat, crește conținutul informațional al parametrilor regimului, se pot aprecia caracteristicile calitative ale regimului curent, se pot compara regimurile diferitor sisteme. De pildă, valoarea tensiunii la mersul în gol MG și curentul de scurtcircuit SC vor fi respectivele scări ale tensiunii și curentului de sarcină.

Dar interacțiunea sarcinilor schimbă toate aceste posibile scări. Asemănător, schimbarea parametrilor regimului de “n ori” sau “procente”, poate fi determinată prin diferența și/sau raportul (sau într-un alt mod) a valorilor inițiale și ulterioare. În acest sens, pentru caracteristicile de reglare se impune o problemă asemănătoare - schimbarea justificată a regimului referitor la valorile maxime permise într-un interval de lucru unic.

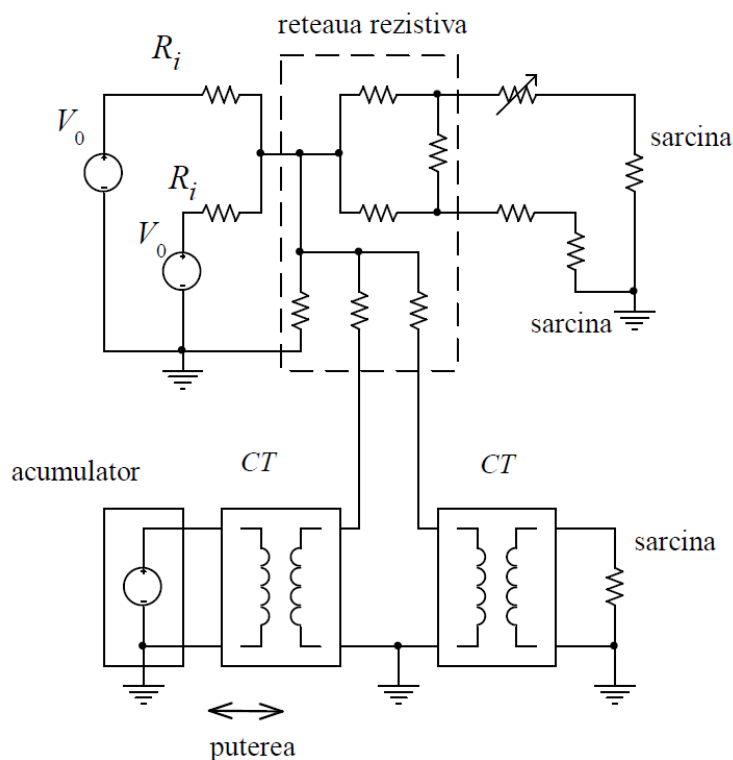


Fig.1.2. Schema echivalentă simplificată a sistemului de alimentare.

În caz general, calculul regimurilor de lucru curenți este legat de pierderi semnificative de timp. De aceea, pentru circuitele rezistive sunt propuse formule comode de calcul a pierderilor [53, 54]. De asemenea, se elaborează metode de modelare și calcul mult mai rapide (analogice, combinate) [55-57].

Pe de altă parte, folosirea numai a sistemelor de calcul computerizate nu rezolvă problema înțelegerii sensului fizic și „mecanismului”, de interacțiune a elementelor circuitului. Prin urmare, folosirea pozițiilor de bază a teoriei circuitelor electrice, ținând cont de sarcinile variabile (teorema generatorului echivalent a circuitului activ, relațiile liniare între curent și tensiune, teorema variațiilor curenților și rezistențelor), permit înțelegerea atât a proceselor de interacțiune a elementelor circuitului, cât și metodele de analiză mai simple [58-62].

Totuși, metodele răspândite nu reflectă pe deplin particularitățile circuitelor cu elemente variabile, ceea ce micșorează eficacitatea analizei. Folosind schema echivalentă simplificată din

figura 1.2, vom alege circuite simple și importante în practică. Analiza acestor circuite caracteristice va arăta neajunsurile metodelor cunoscute și va direcționa studiul mai profund a asemenea circuite.

1.3. Neajunsurile unor metode de analiză cunoscute

1.3.1. Circuit cu o singură sarcină- dipol activ

Cel mai simplu circuit în formă de generator echivalent al unui dipol activ cu sarcină variabilă R_L este arătat în figura 1.3. Linia de sarcină sau CVI se determina prin expresia liniară

$$I_L = \frac{V_0}{R_i} - \frac{V_L}{R_i} = I_L^{SC} - \frac{V_L}{R_i} \quad (1.1)$$

unde R_L -rezistența interioară a generatorului echivalent, I_L^{SC} curentul SC.

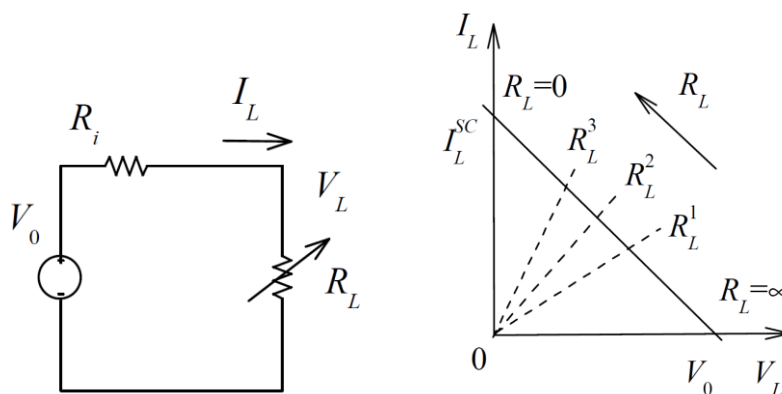


Fig.1.3. Generatorul echivalent și CVI a dipolului activ.

Linia de sarcină corespunde gradării neliniare în valori de rezistență a sarcinii de la zero pină la infinit.

Folosind valorile de scară evidente, vom căpăta parametri normalizați ai regimului curent

$$\frac{V_L}{V_0}, \frac{I_L}{I_L^{SC}}, \frac{R_L}{R_i}. \quad (1.2)$$

Valorile primite au sensuri diferite, ceea ce complică analiza.

Situația se complică în cazul schimbării regimului

$$R_L^1, I_L^1, V_L^1 \rightarrow R_L^2, I_L^2, V_L^2.$$

Sunt cunoscute așa expresii normalizate sau relative

$$\frac{I_L^2}{I_L^1}, \frac{I_L^2 - I_L^1}{I_L^{SC}} = \frac{\Delta I_L^{21}}{I_L^{SC}}, \frac{I_L^2 - I_L^1}{I_L^2 + I_L^1}, \frac{\Delta I_L^{21}}{I_L^1}. \quad (1.3)$$

Exresii analogice pentru ceilalți parametri R_L, V_L .

Obținem dege cunoscutele “ n ori” și “ procente “, dar valorile date au, de asemenea, sensuri diferite. Apare întrebarea firească, care cerințe trebuie înaintate la definirea schimbării regimului; cum de definit “aceleași” schimbări ale regimului pentru diferite puncte de lucru inițiale.

Fie că regimul încă o dată s-a schimbat, $R_L^2, V_L^2, I_L^2 \rightarrow R_L^3, V_L^3, I_L^3$. Atunci putem introduce schimbarea rezultativă $R_L^1, V_L^1, I_L^1 \rightarrow R_L^3, V_L^3, I_L^3$.

Prin urmare, apare întrebarea dacă se îndeplinesc proprietățile de grup. Atunci, la expresia (1.3)

$$\frac{I_L^3}{I_L^1} = \frac{I_L^3}{I_L^2} \cdot \frac{I_L^2}{I_L^1}, \frac{\Delta I_L^{31}}{I_L^{SC}} = \frac{\Delta I_L^{32}}{I_L^{SC}} + \frac{\Delta I_L^{21}}{I_L^1} - \text{proprietătea de grup se îndeplinește,}$$

$$\frac{I_L^3 - I_L^1}{I_L^3 + I_L^1} \neq \frac{I_L^3 - I_L^2}{I_L^3 + I_L^2} \cdot \frac{I_L^2 - I_L^1}{I_L^2 + I_L^1}, \frac{\Delta I_L^{31}}{I_L^1} \neq \frac{\Delta I_L^{32}}{I_L^2} + \frac{\Delta I_L^{21}}{I_L^1} - \text{proprietătea de grup nu se îndeplinește.}$$

Apare contradicția,- pentru unii parametri proprietatea de grup se îndeplinește, pentru alții nu. Astfel, paramtrii trebuie introduși de pe poziții comune.

Dipol activ cu rezistență variabilă. Fie ca dipolul activ A din apropierea sarcinii de bază R_{L1} conține și o rezistență variabilă (o sarcină suplimentară) R_{L2} în figura 1.4.

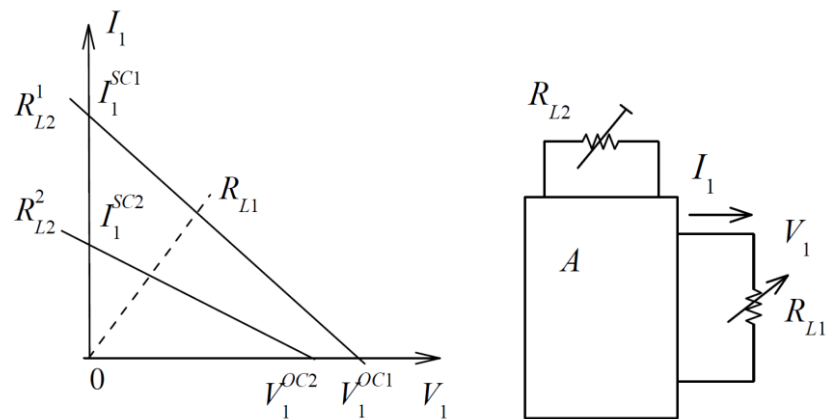


Fig.1.4 Familia CVI a dipolului activ cu rezistența variabilă.

Evident, se schimbă tensiunea MG și curentul SC ca scări sau parametri ai generatorului echivalent. Prin urmare, normalizarea parametrilor regimului curent conduce la nedeterminări a analizei.

Cuadripol instabil. Vom examina transmiterea semnalului de măsurare sau calculul conductibilității senzorului rezistiv prin cuadripolul instabil (influența temperaturii, inducerilor și altele în figura 1.5).

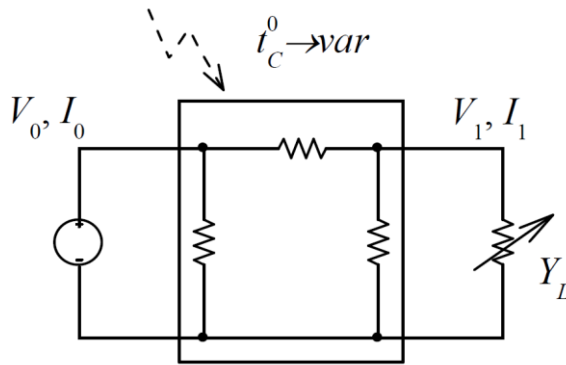


Fig.1.5. Exemplu de cvadripol nestabil.

Știind parametrii de transmisie a cvadripolului, în baza măsurărilor curenților de intrare se poate calcula conductibilitatea sarcinii. Dar pentru determinarea parametrilor care se schimbă permanent este necesar de a organiza regimurile *MG* și *SC* sau manipulări la intrare și ieșire, ce nu totdeauna este tehnic comod pentru senzorii îndepărtați.

1.3.2. Cvadripol activ cu două sarcini

Pentru circuitul din figura 1.6 se manifestă clar interacțiunea sarcinilor variabile - se schimbă înclinarea caracteristicilor de sarcină sau dreptelor $V_2(V_1, Y_{L1})$, $V_2(V_1, Y_{L2})$.

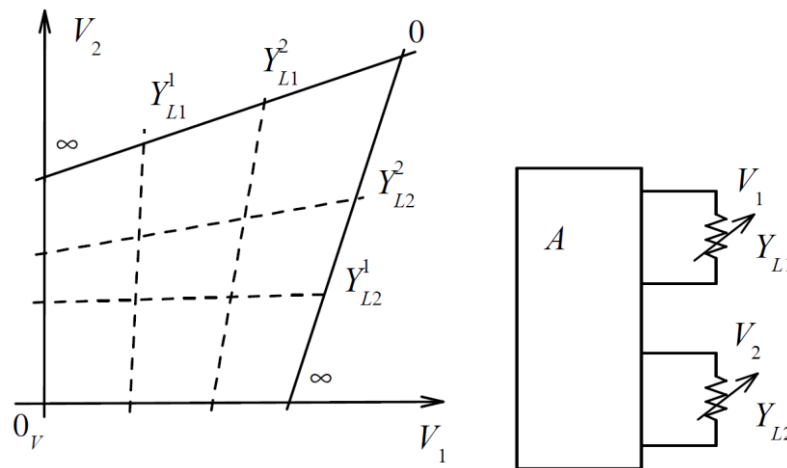


Fig.1.6. Familia caracteristicilor de sarcină a cvadripolului activ.

Se vede schimbarea tensiunii *MG* a două sarcini ca scări pentru probabila normalizare a regimului curent. Se poate de introdus valori de bază sau de scară independente de sarcină?

Multipoli activi. În acest caz, setul de parametri, expresii normalizate și scări se mărește.

1.3.3. Teorema variației parametrilor circuitului liniar

Vom examina problema recalculării curenților la schimbarea rezistenței sarcinilor sau teorema variației, care are o istorie veche [63-65]. Ideea constă în obținerea expresiilor directe pentru schimbarea $R \rightarrow I$ și nu recalcularea întregului circuit.

Fie ca regimul inițial al circuitului cu două sarcini corespunde regimului SC . Curentii sarcinilor sunt respectiv I_1^{SC}, I_2^{SC} . În continuare regimul se schimbă; vom nota primele valori ale sarcinilor R_{L1}^1, R_{L2}^1 din figura 1.7.

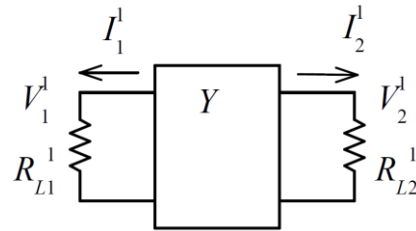


Fig. 1.7. Circuit activ cu primele valori a rezistenței sarcinilor.

Folosim ecuația matrice a cvadripolului activ

$$\begin{bmatrix} I_1^1 \\ I_2^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{12} & -Y_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1^1 \\ V_2^1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_1^{SC} \\ I_2^{SC} \end{bmatrix}, \quad (1.4)$$

$$V_1^1 = R_{L1}^1 I_1^1, \quad V_2^1 = R_{L2}^1 I_2^1, \quad \Delta_Y = Y_{11} Y_{22} - (Y_{12})^2.$$

Atunci ecuația circuitului

$$\begin{bmatrix} 1 + Y_{11} R_{L1}^1 & -Y_{12} R_{L2}^1 \\ -Y_{12} R_{L1}^1 & 1 + Y_{22} R_{L2}^1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1^1 \\ I_2^1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_1^{SC} \\ I_2^{SC} \end{bmatrix}. \quad (1.5)$$

Soluția ecuației

$$\begin{cases} I_1^1 = \frac{I_1^{SC} + R_{L2}^1 (Y_{22} I_1^{SC} + Y_{12} I_2^{SC})}{1 + Y_{11} R_{L1}^1 + Y_{22} R_{L2}^1 + R_{L1}^1 R_{L2}^1 \Delta_Y} = I_1^1(I_1^{SC}, I_2^{SC}, R_{L1}^1, R_{L2}^1) \\ I_2^1 = \frac{I_2^{SC} + R_{L1}^1 (Y_{11} I_2^{SC} + Y_{12} I_1^{SC})}{1 + Y_{11} R_{L1}^1 + Y_{22} R_{L2}^1 + R_{L1}^1 R_{L2}^1 \Delta_Y} = I_2^1(I_1^{SC}, I_2^{SC}, R_{L1}^1, R_{L2}^1). \end{cases} \quad (1.6)$$

Imediat se remarcă problema- cum de gasit expresiile normalizate pentru curenți.

Dacă introducem formal tradiționalele valori normalizate $\frac{I_1^1}{I_1^{SC}}, \frac{I_2^1}{I_2^{SC}}$, în numărătorii expresiei

(1.6) primim valori reciproce $\frac{I_2^{SC}}{I_1^{SC}}, \frac{I_1^{SC}}{I_2^{SC}}$. Prin urmare, nu obținem expresii pur relative pentru

posibila comparare a regimurilor diferitor circuite (chiar și neținând cont de numitor).

Recalcularea curenților. Fie valorile secundare ale sarcinilor sunt egale R_{L1}^2, R_{L2}^2 . Atunci expresia pentru curenți (1.6) se calculează față de aceiași curenți SC

$$I_1^2 = I_1^2(I_1^{SC}, I_2^{SC}, R_{L1}^2, R_{L2}^2), \quad I_2^2 = I_2^2(I_1^{SC}, I_2^{SC}, R_{L1}^2, R_{L2}^2). \quad (1.7)$$

Apare fireasca problemă- exprimarea următoarelor valori ale curenților prin valorile anterioare ale curenților.

Prezentăm valorile secundare a rezistenței sarcinilor prin creșteri

$$R_{L1}^2 = \delta R_{L1}^{21} + R_{L1}^1, \quad R_{L2}^2 = \delta R_{L2}^{21} + R_{L2}^1.$$

Din expresia (1.7) excludem curenții I_1^{SC}, I_2^{SC} , atunci valorile secundare ale curenților față de primele valori

$$I_1^2 = I_1^2(I_1^1, I_2^1, \delta R_{L1}^{21}, \delta R_{L2}^{21}, R_{L1}^1, R_{L2}^1), \quad I_2^2 = I_2^2(I_1^1, I_2^1, \delta R_{L1}^{21}, \delta R_{L2}^{21}, R_{L1}^1, R_{L2}^1). \quad (1.8)$$

Se primesc expresii greoaie. De asemenea, în aceste expresii intră primele valori ale rezistenței sarcinilor, adică nu se îndeplinesc proprietățile de grup. Prin urmare, nu avem posibilitatea comparării schimbării regimului circuitelor.

În acest sens, proprietatea de grup dorită are forma

$$I_1^2 = I_1^2(I_1^1, I_2^1, m_1^{21}, m_2^{21}), \quad I_2^2 = I_2^2(I_1^1, I_2^1, m_1^{21}, m_2^{21}). \quad (1.9)$$

Valorile $m_1^{21}(R_{L1}^1, R_{L2}^1), m_2^{21}(R_{L1}^1, R_{L2}^1)$ - careva posibile adimensionale sau relative schimbări ale rezistenței de sarcină.

Ce ne dă aceasta? A treia valoare a curenților va fi exprimată prin valori intermediare

$$I_1^3 = (I_1^1, I_2^1, m_1^{31}, m_2^{31}) = (I_1^2, I_2^2, m_1^{32}, m_2^{32}), \quad I_2^3 = (I_1^1, I_2^1, m_1^{31}, m_2^{31}) = (I_1^2, I_2^2, m_1^{32}, m_2^{32}),$$

$$m_1^3 = m_1^{32} \cdot m_1^2 = m_1^{32} \cdot m_1^{21} \cdot m_1^1 = m_1^{31} \cdot m_1^1, \quad m_2^3 = m_2^{32} \cdot m_2^2 = m_2^{32} \cdot m_2^{21} \cdot m_2^1 = m_2^{31} \cdot m_2^1.$$

În acest caz este posibilă compararea directă a schimbării regimului circuitelor.

1.3.4. Convertoare (regulatoare) ale tensiunii de sarcină cu o sursă de tensiune de putere limitată.

Convertoarele de tensiune, în cazul surselor de alimentare cu putere limitată, prezintă ambiguitate de reglare a caracteristicilor. De asemenea, se observă interferența sarcinii la limitarea puterii de sarcină. Pentru claritate, vom cerceta sistemul cu două convertoare CT1 și CT2 sau regulatoarele de tensiune, reprezentat în figura 1.8.

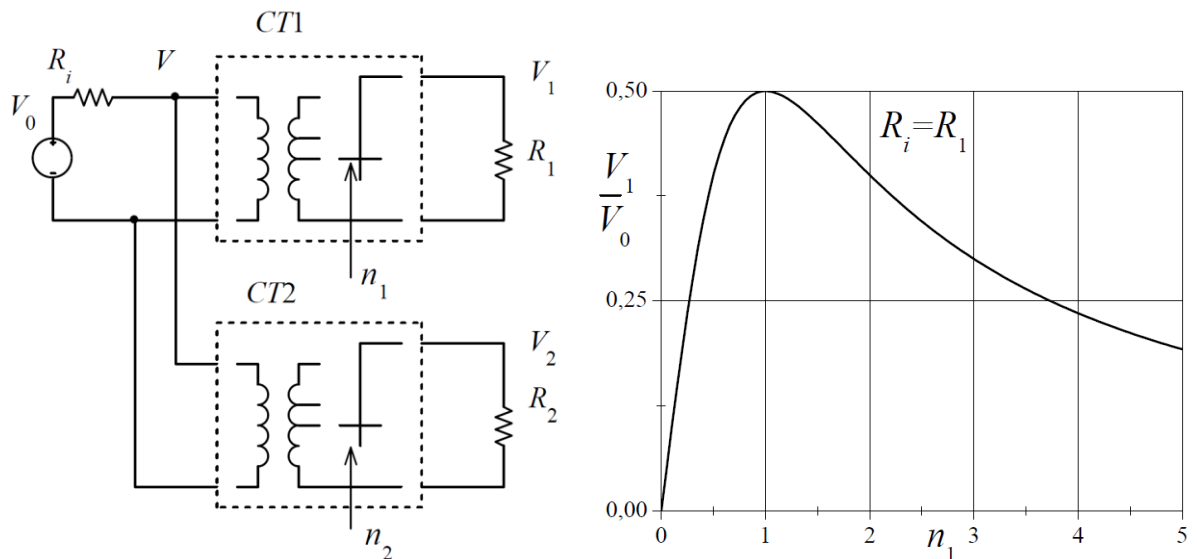


Fig.1.8. Sistemul de alimentare și caracteristicile convertorului de reglare a tensiunii.

Astfel de convertoare pot fi convertoarele cu transformator, de impuls de ridicare [66]. Din definiție, coeficienții de transformare reglabili sau coeficienții de transmitere a tensiunii

$$n_1 = \frac{V_1}{V}, n_2 = \frac{V_2}{V}.$$

Cazul unei singure sarcini. Este cunoscută ecuația caracteristicii de reglare a convertorului

$$V_1(n_1) = \frac{n_1 V_0}{1 + \frac{R_i}{R_1} (n_1)^2}. \quad (1.11)$$

Valoarea maximă a tensiunii sarcinii și valoarea permisă a coeficientului de transformare sunt determinate de raportul dintre rezistența interioară R_i și sarcina R_1 . Deoarece această caracteristică nu e liniară, în practică apar probleme: schimbarea în pas uniform sau neuniform a parametrilor n_1, V_1 în intervalul de lucru unic; normalizarea parametrilor regimului și comparația circuitelor cu diferite valori R_i .

Două sarcini. În acest caz, sistemul e descris cu ajutorul ecuației sferei $(V_1, V_1, V) = 0$. Graficul respectiv e reprezentat în figura 1.9. În baza proiecției stereografice variabilele n_1, n_2 determină planul conformal. De aceea, reglarea tensiunii conduce la obținerea traectoriei caracteristice în acest plan.

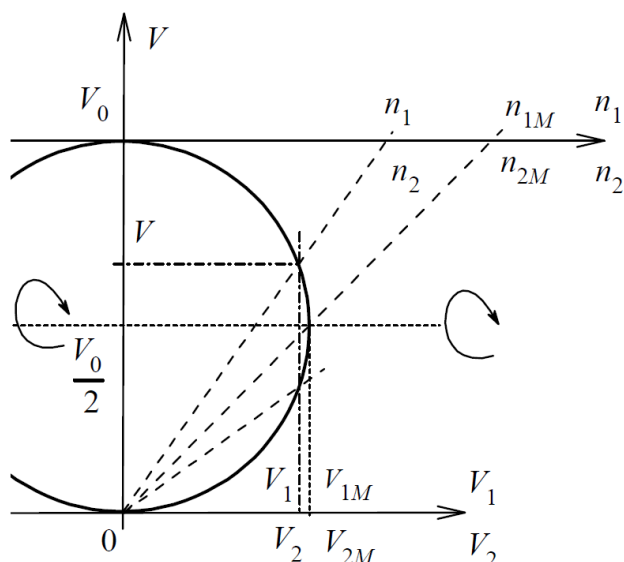


Fig. 1.9. Proecția stereografică a punctelor sferei pe planul tangențial n_1n_2 .

Fie ca condițiile de lucru ale regimului sunt $V_1 = \text{const}$, $V_2 = \text{var}$, atunci, în planul V_1V_2 vom obține o familie de linii drepte, iar în planul n_1n_2 - o familie caracteristică de cercuri, figura 1.10. Această familie de cercuri reprezintă transformarea Mobius a unei variabile complexe [67]

$$n^2(n^1) = \frac{n^1 \cos \alpha + i \sin \alpha}{in^1 \sin \alpha + \cos \alpha}, \quad n = n_1 + in_2. \quad (1.12)$$

Traectoriile specificate corespund grupului de rotații a sferei la unghiul dat α .

Dar se poate întâmpla, că la un oarecare pas în ciclul de comutare, punctul de lucru trece de ecuatorul sferei, iar valoarea tensiunii V_2 va fi în descreștere, ceea ce nu e admisibil. Prin urmare, e mai avantajos folosirea unei transformări în grup, ca punctul de lucru să se afle într-un interval de lucru unic, adică în cerc $(n_1)^2 + (n_2)^2 < 1$, $n_{1M} = n_{2M} = 1$

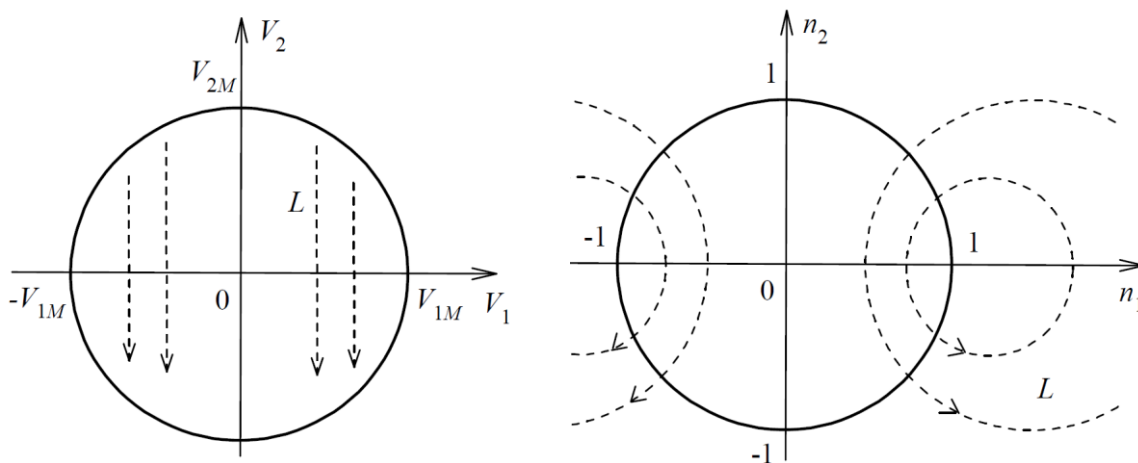


Fig.1.10. Traectoriile punctelor de lucru ale variabilelor V_1, V_2 și n_1, n_2 .

Convertor de impuls de ridicare . Rezistența pierderilor R a bobinei de șoc L conduce la o curbă de reglare caracteristică cu două valori a unui așa convertor ca în figura 1.11. Ecuația curbei de reglare caracteristică [68]

$$V_L = V_0 \frac{1-D}{(1-D)^2 + (\sigma)^2}, \quad \frac{R}{R_L} = (\sigma)^2, \quad (1.13)$$

unde D -durata relativă a impulsurilor de comandă, σ -pierderile.

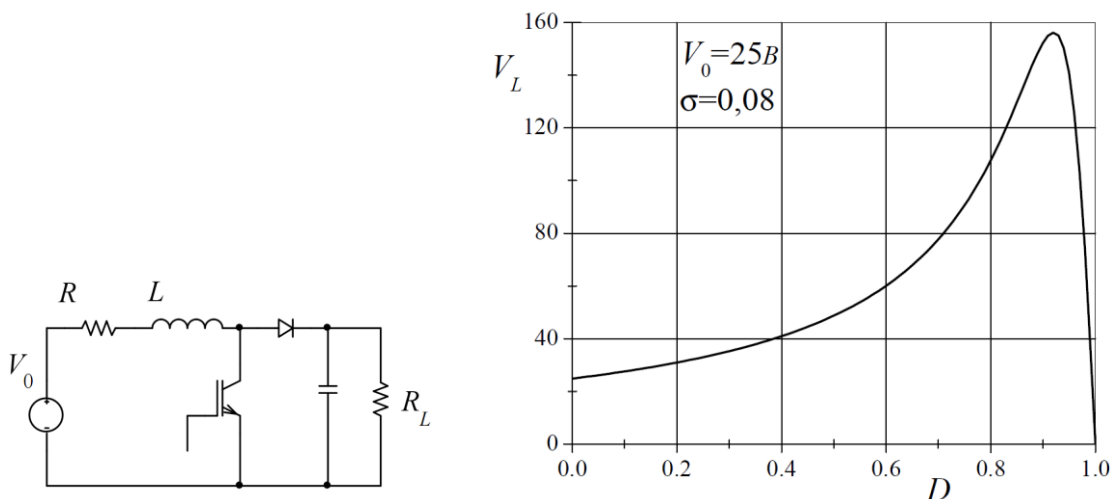


Fig.1.11. Schema și curba de reglare caracteristică a convertorului de impuls de ridicare.

Dacă introducem [48]

$$n = \frac{1}{1-D} \geq 1,$$

atunci vom primi o ecuație asemănătoare cu (1.11)

$$V_L = V_0 \frac{n_1}{1 + (\sigma n_1)^2}.$$

De asemenea, valorile maxime ale tensiunii sarcinii $V_{LM} = V_0 / 2\sigma$, valorile $D_M = 1 - \sigma$ și $n_M = 1 / \sigma$ se determină prin pierderi. De aici, apare problema normalizării actualilor parametri ai regimului pentru compararea convertoarelor cu pierderi diferite.

Așa probleme sunt caracteristice unui șir de dispozitive electronice de putere cu caracteristicile CVI și de reglare neliniare: stabilizator de tensiune, consumator de putere constantă etc.

1.4. Concluzii la Capitolul 1

1. Exemplele circuitelor și metodelor examinate denotă lipsa unei abordări (ca sens- a unei teorii) generale justificate și criteriilor pentru alcătuirea expresiilor normalizate și relative.

Prim urmare, „evidenta” însă formalizată în introducerea și folosirea lor conduce la nedeterminări în alegerea lor, și chiar, la contradicții. Aceasta, în mare măsură, se manifestă la complicarea circuitelor electrice: se mărește numărul de valori caracteristice ale parametrilor regimului, se mărește numărul a însuși parametrilor regimului, apare neliniaritatea și ambiguitatea caracteristicilor

2. Pentru a exclude introducerea formalizată a regimurilor relative, este necesar de apropiat de definiția lor, în baza exemplurilor circuitelor examinate, care destul de simplu demonstrează metoda propusă.

3. Cercetarea mai profundă a circuitelor electrice cu parametri variabili a elementelor și regimurilor de lucru impune problema folosirii unui aparat matematic potrivit, pentru interpretarea dependențelor parametrilor regimului și detectarea calităților necunoscute a astfel de circuite, care este conținutul unei noi direcții științifice.

O nouă direcție științifică: caracteristicile de grup ale regimurilor de lucru variabile a circuitelor, invariante relativ tipului parametrilor regimului și porțiunii de circuit.

4. În legătură cu cele expuse, **scopul lucrării este cercetarea „mecanismului” interacțiunii elementelor circuitului, folosind geometria proiectivă și elaborarea în baza acestora a metodei de calcul a parametrilor reali și normalizați ai regimurilor circuitelor electrice liniare și convertorilor de tensiune cu caracteristici neliniare (două valori) în regimuri variabile cvasi-staționare.**

5. În conformitate cu aceasta este necesară rezolvarea **următoarelor probleme:**

- a analiza metodele cunoscute de normalizare a parametrilor regimului și metodele de recalcul;
- a propune clasificarea circuitelor electrice, a argumenta modelele matematice (geometrice) după tipul circuitului; regimuri de lucru și numărul de sarcini;
- a descoperi noi tipuri (suplimentare) caracteristice regimurilor, în afară de cele tipice (regimurile *MG*, *SC*);
- a argumenta indicatorii regimului invarianți la tipul parametrilor regimului și porțiunile circuitului;
- a elabora metoda de recalculare a curenților de sarcină la schimbarea sarcinilor și parametrilor circuitului rezistiv.
- a dezvolta cunoscuta metodă a generatorului echivalent;
- a cerceta rapoartele invariante întare-eșire a multipolilor;
- a argumenta metodologia determinării intervalului de lucru unic al regimurilor de lucru a convertoarelor de tensiune cu caracteristici cu două valori;
- a propune expresii pentru schimbarea indicatorilor regimului (legile reglării) convertoarelor de tensiune cu două și mai multe sarcini .

2. GEOMETRIA PROIECTIVA ȘI CIRCUITE ELECTRICE

2.1. Sensul și locul metodei geometriei proiective în teoria circuitelor

După cum a fost menționat mai sus în capitolul 1, utilizarea principiilor de bază ale teoriei circuitelor electrice (teorema generatorului echivalent a circuitului activ, relațiile liniare între curenți și tensiune, teorema variației) oferă o înțelegere a proceselor de interferență a elementelor circuitului. Acum vom prezenta dezvoltarea acestor condiții de bază, evidențiate cu caractere albine în figura 2.1

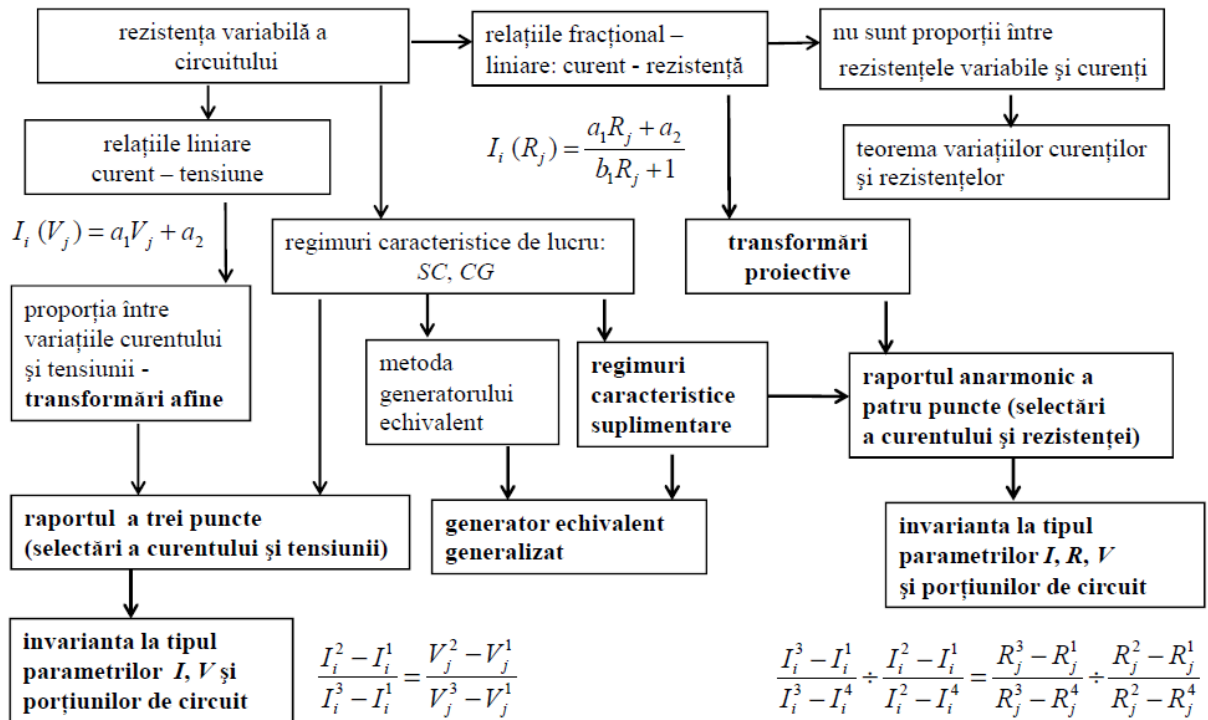


Fig.2.1. Dezvoltarea condițiilor de bază ale teoriei circuitelor

La modificarea oricărei rezistențe în circuit au loc relații liniare cunoscute între curent și/sau tensiune pe diferite porțiuni ale circuitului sau transformările afine $(V_j) \rightarrow (I_i)$.

Prin urmare, se manifestă proporțiile dintre modificările acestor parametri. De aici rezultă un raport simplu a trei puncte (selectări), ca o transformare invariantă afină. La rândul său, relațiile fracționare liniare între curenții și rezistența variabilă o luăm în considerare ca o transformare proiectivă. De asemenea, menționăm manifestarea regimurilor caracteristice suplimentare. De aici reiese invariantul – raportul anarmonic a patru puncte (selectări) a parametrilor regimului și generalizarea generatorului echivalent.

Astfel, studiul "mecanismului" de interferență a elementelor circuitului cu implicarea geometriei proiective va permite dezvăluirea proprietăților suplimentare a circuitelor, care alcătuiesc conținutul lucrării date.

2.2. Informații necesare despre geometria proiectivă

Să examinăm o linie dreaptă a și un triunghi ABC în planul α și β , respectiv, din figura 2.2. Să proiectăm aceste figuri pe planurile α' și β' , utilizând punctele O ca centre de proiectare. În rezultatul acestei proiectări centrale obținem respectiv linia dreaptă a' și triunghiul $A'B'C'$. Proiecțiile obținute se deosebesc de figurile inițiale. În special, se încalcă proporția lungimii segmentelor.

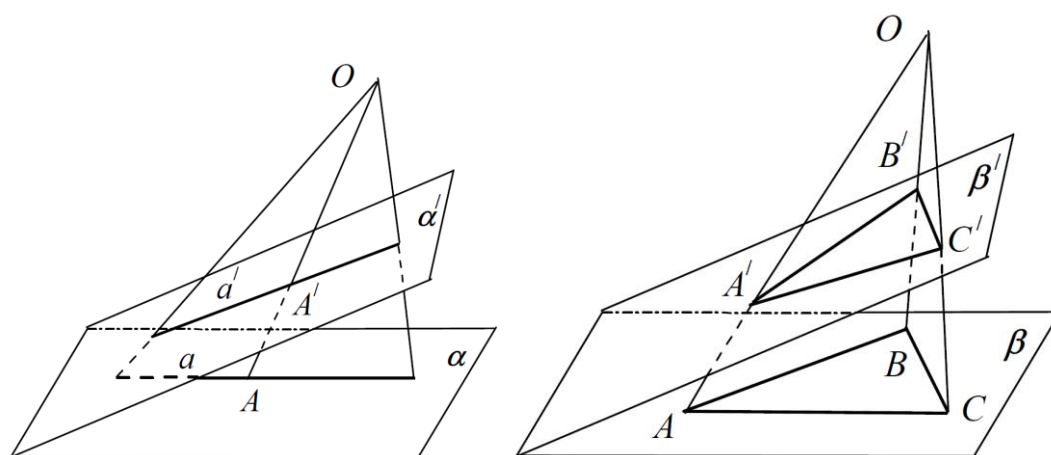


Fig. 2.2. Proiecțiile (transformarea) figurilor în diferite planuri.

Pe de altă parte, figurile au proprietăți, care se păstrează la proiectare, și cu aceste figuri pot fi comparate valorile care, de asemenea, se păstrează la orice proiectare. Aceste proprietăți și valori se numesc invariante la proiectare. Anume aceste proprietăți și valori sunt obiectele de studiu în geometria proiectivă [69]. În mod similar, putem examina proiecția figurilor în planuri suprapuse (sau a unui plan) în figura 2.3.

Transformările (sau mișcarea) figurii pe plan sunt determinate de transformările proiective $(x, y) \rightarrow (x', y')$ în formă de expresii fracționare liniare [69, 70]

$$x' = \frac{a_1x + a_2y + a_3}{c_1x + c_2y + c_3}, \quad y' = \frac{b_1x + b_2y + b_3}{c_1x + c_2y + c_3}. \quad (2.1)$$

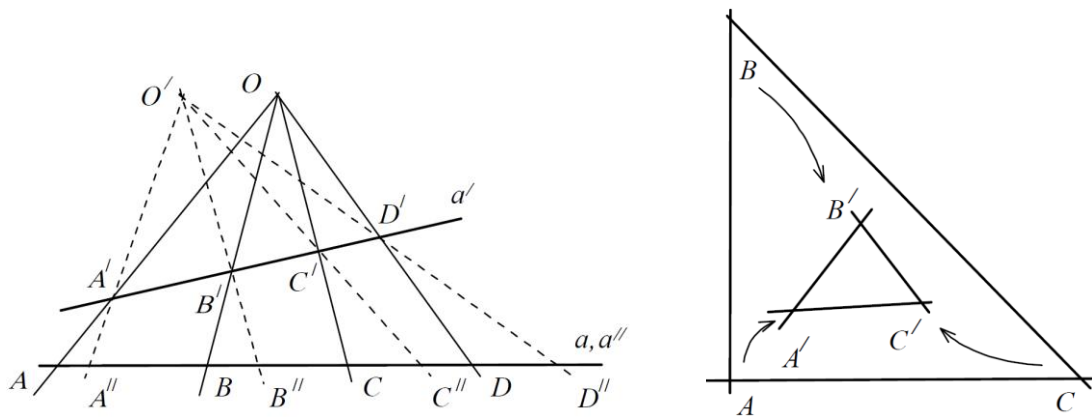


Fig. 2.3. Proiecțiile (transformările) figurilor într-un plan.

De asemenea, putem reflecta puncte de pe liniile drepte suprapuse $a \rightarrow a''$, utilizând centrul proiecției O' în figura 2.3. În acest caz, se obține o transformare unidimensională $x \rightarrow x'$

$$x' = \frac{a_1 x + a_3}{c_1 x + c_3}. \quad (2.2)$$

În special, punctele A, D pot coincide respectiv cu punctele, A'', D'' , adică punctele A, D sunt fixate. În teoria transformărilor proiective punctele fixe au o importanță deosebită. Două puncte reale corespund transformării hiperbolice sau geometriei hiperbolice (Lobachevsky).

Invarianta transformării proiective este raportul anarmonic al coordonatelor celor patru puncte pe linia dreaptă [71-74]

$$(A B C D) = \frac{B-A}{B-D} \div \frac{C-A}{C-D} = (A' B' C' D') = (A'' B'' C'' D''). \quad (2.3)$$

Transformarea afină cunoscută prezintă un caz special al unei transformări proiective. În acest caz, ca invariant este raportul (proporția normală) a trei puncte. La rândul său, transformarea euclidiană – un caz special al transformării afine, păstrează lungimea reală a segmentului. Pentru claritate, forma transformării afine și proiective în raport cu grila (rețeaua) carteziană dreptunghiulară inițială este prezentată în figura 2.4.

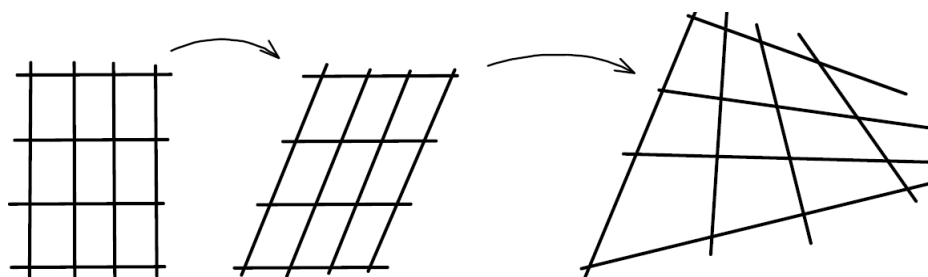


Fig. 2.4. Grila (rețeaua) carteziană la transformarea afină și proiectivă.

Este necesar de remarcat și transformarea Möbius (transformările proiective ale variabilei complexe) a grilei de coordonate carteziene dreptunghiulare inițiale din figura 2.5.

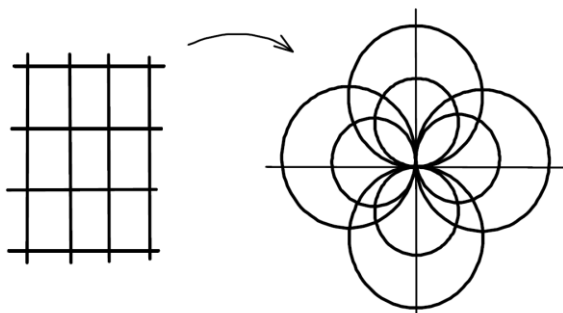


Fig.2.5. Transformarea conformă Möbius.

Coordonatele punctului în planul Euclidian și proiectiv. Să presupunem că în planul Euclidian sunt date coordonate carteziene X, Y în figura 2.6.

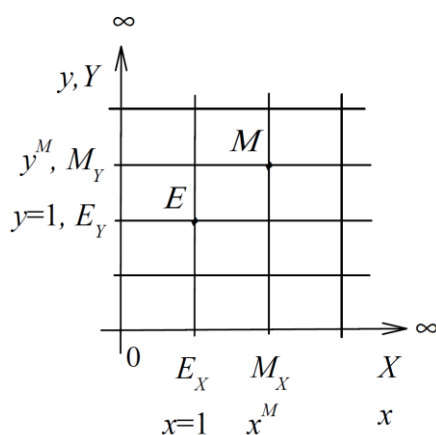


Fig. 2.6. Coordonatele carteziene X, Y .

Fie că punctul E este punct unitar (scară). Atunci coordonatele punctului M

$$x^M = \frac{M_X}{E_X}, y^M = \frac{M_Y}{E_Y}. \quad (2.4)$$

Planul proiectiv, spre deosebire de planul Euclidian, se completează cu o linie dreaptă la infinit ∞ [75]. Prin urmare, grila de coordonate în planul proiectiv prezintă două fascicule de linii drepte cu centrele fasciculelor în punctele la infinit ∞ în figura 2.7. Axelor de coordonate X, Y le corespunde gradația (calibrarea) neliniară.

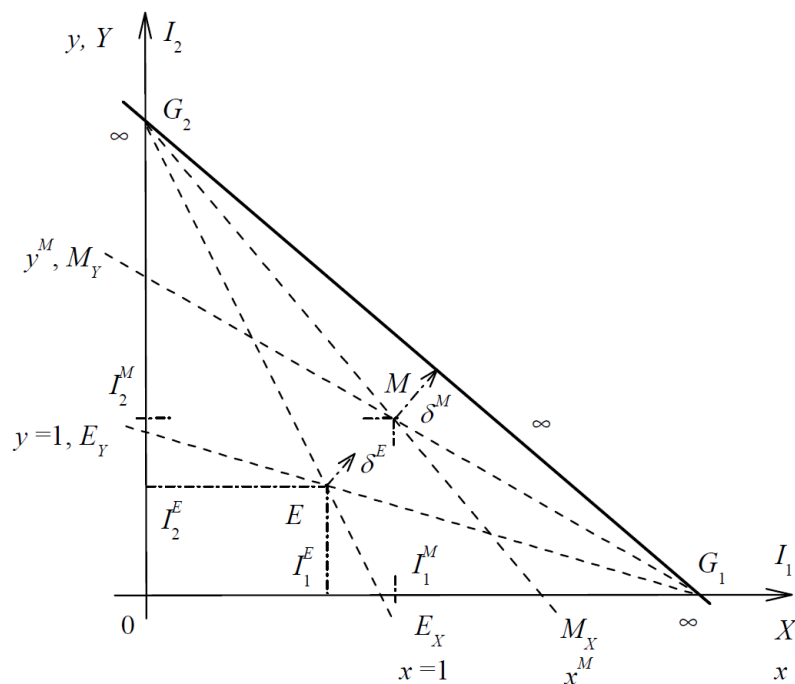


Fig. 2.7. Grila de coordonate X, Y în planul proiectiv ca două fascicule de linii drepte.

Pe de altă parte, se introduc axele I_1, I_2 cu gradare liniară. Prin urmare, triunghiul G_1OG_2 determină două tipuri de coordonate.

Coordonatele neomogene ale punctului M corespund raportului anarmonic

$$x^M = (0 M_X E_X \infty) = \frac{M_X - 0}{E_X - 0} \div \frac{M_X - \infty}{E_X - \infty} = \frac{M_X}{E_X}, \quad y^M = (0 M_Y E_Y \infty) = \frac{M_Y}{E_Y}. \quad (2.5)$$

Aceste expresii coincid cu (2.4) întrucât au fost selectate punctele extreme $0, \infty$.

În scopul eliminării incertitudinii, atunci când punctul se află pe o linie dreaptă la infinit ∞ , sunt introduse coordonatele omogene (proporționale cu raportul dintre distanța punctelor M, E până la laturile triunghiului coordonat)

$$\xi_1^M \sim \frac{I_1^M}{I_1^E}, \quad \xi_2^M \sim \frac{I_2^M}{I_2^E}, \quad \xi_\infty^M \sim \frac{\delta^M}{\delta^E}. \quad (2.6)$$

La rândul său, expresiile omogene ale coordonatelor definesc coordonatele neomogene

$$x^M = \frac{\xi_1^M}{\xi_\infty^M}, \quad y^M = \frac{\xi_2^M}{\xi_\infty^M}. \quad (2.7)$$

Informații necesare despre geometria hiperbolică -(Lobachevsky). Sunt cunoscute interpretații sau modelele geometriei hiperbolice în cerc. Cercul corespunzător definește frontiera

îndepărtată la infinit sau absolutul. În modelul conformal Poincare, liniile planului hiperbolic sunt reprezentate de semicercuri, care traversează ortogonal absolutul în figura 2.8. Transformările Möbius lăsă absolutul fixat și reține raportul anarmonic al celor patru puncte

$$(A B C D) = (A B' C' D). \quad (2.8)$$

Punctele A, D sunt fixate. Distanța $H(B, C)$ dintre punctele B, C

$$H(B C) = H(B' C') = \text{Ln}(A B C D). \quad (2.9)$$

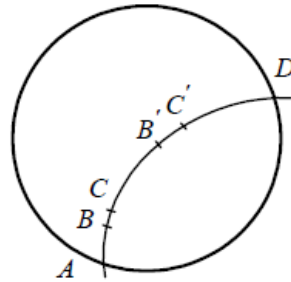


Fig. 2.8. Modelul conformal Poincare al geometriei hiperbolice .

2.2. Interpretarea geometrică a caracteristicilor grafice ale circuitelor

Examinarea ecuațiilor și caracteristicilor grafice ale unui șir de circuite simple, indică posibilitatea de interpretare a ultimelor prin prevederile de bază ale geometriei proiective. Să examinăm exemple concrete [76].

Circuite cu o sarcină. Coordonatele proiective ale punctului de lucru pe linia dreaptă.

Ecuția dipolului activ din figura 2.9 are forma fracționar liniară

$$V_L = V_0 \frac{R_L}{R_i + R_L}. \quad (2.10)$$

Acest lucru permite să considerăm imaginea $R_L \rightarrow V_L$ ca o transformare proiectivă unidimensională [76]. Transformarea proiectivă se determină de centrul de proiecție S sau de trei perechi de puncte corespunzătoare. În calitate de perechi de puncte corespunzătoare este comod de utilizat punctele regimurilor caracteristice, care se determină la nivel calitativ, de pildă, punctele regimurilor MG, SC , de putere maximală.

Alcătuiim raportul anarmonic m_L^1 de patru puncte, unde punctele a patrulea sunt punctele regimului curent R_L^1, V_L^1, I_L^1

$$m_L^1 = (0 R_L^1 R_i \infty) = \frac{R_L^1}{R_i} = (0 V_L^1 \frac{V_0}{2} V_0) = \frac{V_L^1}{V_0 - V_L^1} = (I_L^{SC} I_L^1 \frac{I_L^{SC}}{2} 0). \quad (2.11)$$

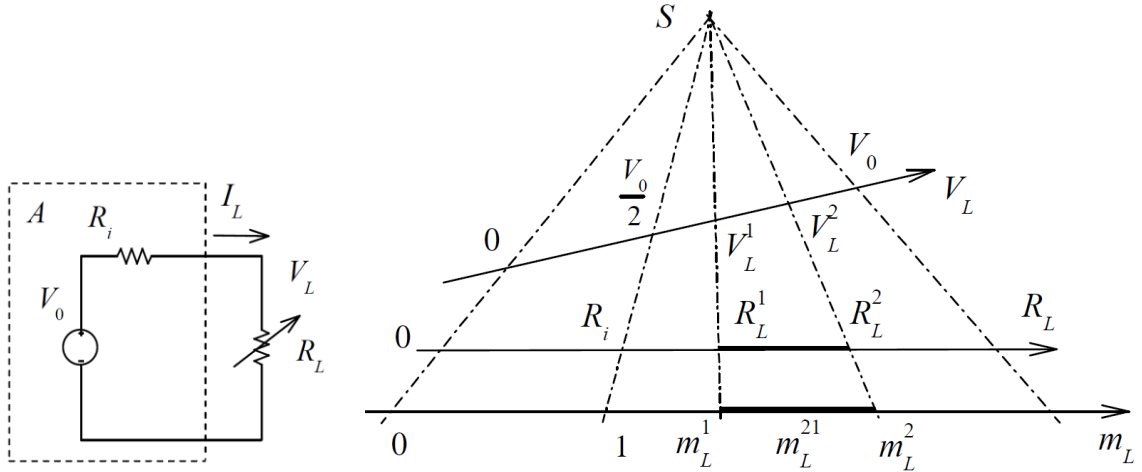


Fig. 2.9. Dipolul activ și transformarea proiectivă $R_L \rightarrow V_L$.

Raportul anarmonic în geometrie stă la baza determinării distanței dintre punctele $R_L^1, R_L = R_i$ față de valorile extreme sau de bază $0, \infty$. Chiar punctul R_i este de scară sau unitar. Astfel, coordonata proiectivă a punctului regimului curent sau regimul relativ este definit de numărul m_L care, de asemenea, se determină prin diverși parametri ai regimului de tip R_L, V_L, I_L

La rândul său, schimbarea regimului $R_L^1 \rightarrow R_L^2$ (corespunzător $V_L^1 \rightarrow V_L^2, I_L^1 \rightarrow I_L^2$)

$$m_L^{21} = (0 R_L^2 R_L^1 \infty) = \frac{R_L^2}{R_L^1} = (0 V_L^2 V_L^1 V_0) = \frac{V_L^2}{V_0 - V_L^2} \div \frac{V_L^1}{V_0 - V_L^1} = (I_L^{SC} I_L^2 I_L^1 0). \quad (2.12)$$

Există proprietăți necesare de grup ale raportului anarmonic, $m_L^2 = m_L^{21} m_L^1$.

Pentru schimbarea ulterioară a regimului $R_L^2 \rightarrow R_L^3$, de asemenea, se manifestă proprietățile de grup

$$m_L^3 = m_L^{32} m_L^2 = m_L^{32} m_L^{21} m_L^1 = m_L^{31} m_L^1. \quad (2.13)$$

Presupunem că este necesar să stabilim aceleași schimbări ale regimului m_L^{21} , dar pentru diferite puncte ale regimurilor inițiale. Pentru aceasta din (2.12) obținem expresia explicită $V_L^2(V_L^1)$

$$\frac{V_L^2}{V_0} = \frac{\frac{V_L^1}{V_0} m_L^{21}}{\frac{V_L^1}{V_0} (m_L^{21} - 1) + 1}. \quad (2.14)$$

Transformarea obținută a parametrului m_L^{21} trece punctul regimului inițial V_L^1 în punctul ulterior V_L^2 . În acest caz, parametrul m_L^{21} formează un segment de "lungime" constantă, iar

figura 2.10 corespunde mișcării acestui segment pe o linie dreaptă proiectivă închisă V_L . La apropierea de punctele de bază (sau fixe) $0, V_0$, lungimea euclidiană (normală) se reduce până la zero, iar apoi crește în tranziția spre exterior. Porțiunile exterioare corespund porțiunilor CVI cu valori negative a rezistenței de sarcină și reprezintă impactul opus a energiei la sursa de tensiune. Prin urmare într-un punct îndepărtat la infinit $R_L = -R_i$, gradarea CVI pentru regiunile $V_L > V_0, V_L < 0$, vor coincide.

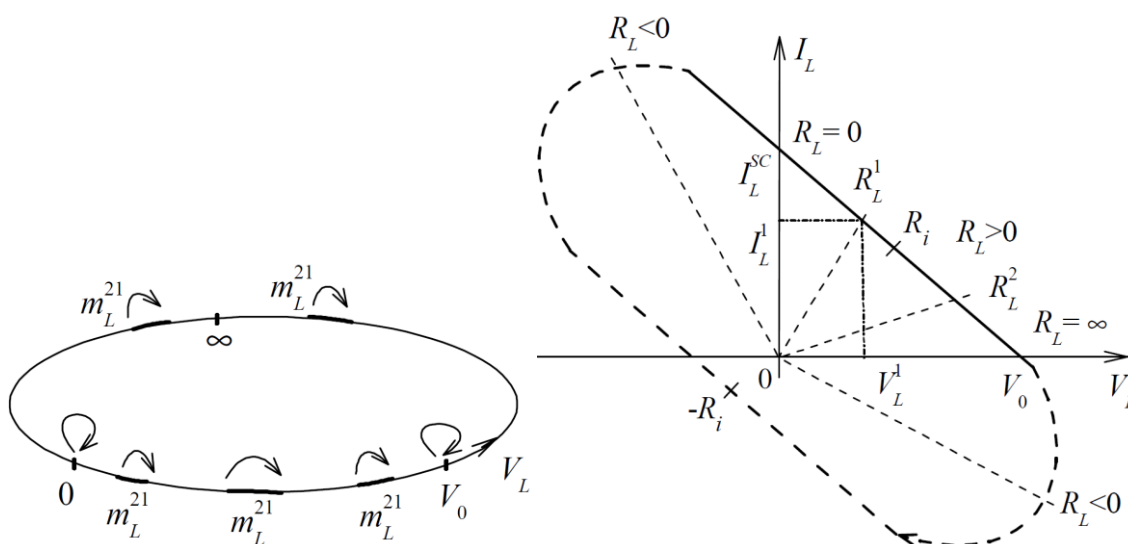


Fig. 2.10. Deplasarea segmentului nemodificat „lungimii” pe o linie dreaptă Proiectivă și CVI ca o linie dreaptă proiectivă închisă.

Pentru a găsi punctele fixe se rezolvă ecuația (2.14) cu condiția $V_L^1 = V_L^2$. De aceea, obținem două rădăcini reale $V_L = 0, V_L = V_0$, ceea ce corespunde unei transformări hiperbolice.

Cazuri particulare. Ecuația CVI se determină de relația liniară

$$I_L = \frac{V_0}{R_i} - \frac{V_L}{R_i} = I_L^{SC} - \frac{V_L}{R_i}. \quad (2.15)$$

Această expresie determină transformarea afină din figura 2.11. De asemenea, există un centru de proiecție S , dar liniile V_L, I_L sunt paralele. Transformarea afină invariantă este raportul a trei puncte sau proporția normală. Dacă exprimăm schimbarea regimului, atunci obținem de obicei "n ori" și "procente".

Dacă centrul proiecției $S \rightarrow \infty$, atunci proiectarea este realizată în linii paralele, ceea ce corespunde transformării euclidiene – transferul segmentului paralel. În circuitul simplu prezentat, în acest caz $R_i = 0$, iar curentul este proporțional cu conductibilitatea sarcinii Y_L . Prin urmare, parametrii regimului au doar valoare absolută și nu pot alcătui expresia relativă din

cauza lipsei de scară. Invariantele transformării euclidiene servesc diferența sau raportul dintre valorile curenților inițiali și ulterioari ai regimului. Aceste două cazuri corespund imaginii (similitudinii) bine cunoscute [77].

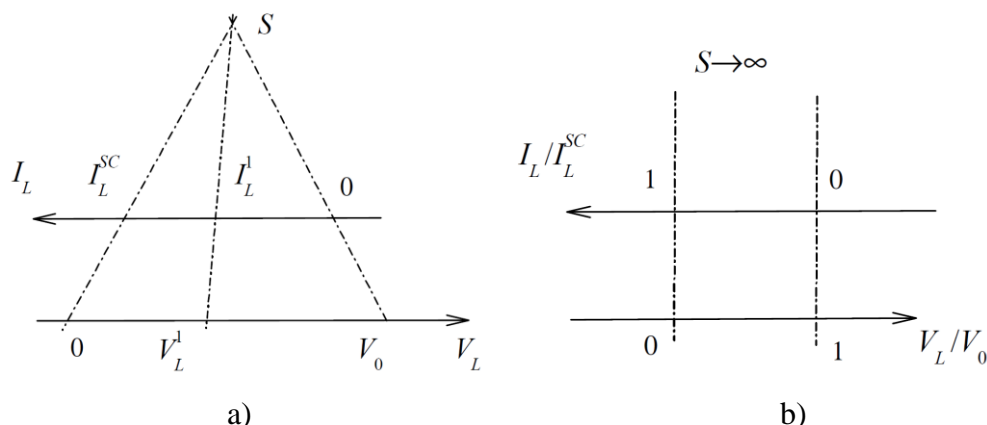


Fig. 2.11. Cazuri particulare ale transformării proiective: a) –afină, b) –euclidiană.

În geometrie este stabilit, că aceste trei tipuri de transformări (proiectivă, afină, euclidiană) epuizează posibilele variante de transformări de grup, care stau la baza determinării metricii liniei drepte [78]. Astfel, abordarea geometrică permite argumentarea rezonabilă pentru determinarea regimului în formă relativă.

Conectarea în paralel a surselor de tensiune cu putere limitată. O condiție necesară pentru conectarea în paralel a surselor de tensiune, care funcționează pentru o sarcină comună, este asigurarea distribuirii sau balanța (soldul) curenților. În cea mai simplă metodă se utilizează rezistențele de nivelare. În cazul sarcinii variabile distribuția inițială a curenților va fi încălcată. Prin urmare, apare problema evaluării capacității circuitului la asigurarea echilibrului curenților.

Să analizăm circuitul din figura 2.12. Rezistențele de nivelare R_{e1}, R_{e2} determină balanța curenților. Încărcarea fiecărei surse poate fi stabilită într-o formă relativă, luând în calcul rezistențele interne R_{i1}, R_{i2} și rezistențele de sarcină raportate R_{L1}, R_{L2} .

$$m_1 = \frac{R_{L1}}{R_{i1}}, m_2 = \frac{R_{L2}}{R_{i2}}.$$

La rândul său, caracteristica sarcinii relative $m_2(m_1)$ se descrie de expresia fracționară liniară și prezintă hiperbola din figura 2.12. Atunci, regimul dorit de lucru, corespunde expresiei $m_2 = m_1$ sau unei linii drepte. Punctul de intersecție $m^{(1)}, m^{(2)} = -1$ a hiperbolei și liniei drepte corespunde regimului sarcinii egale.

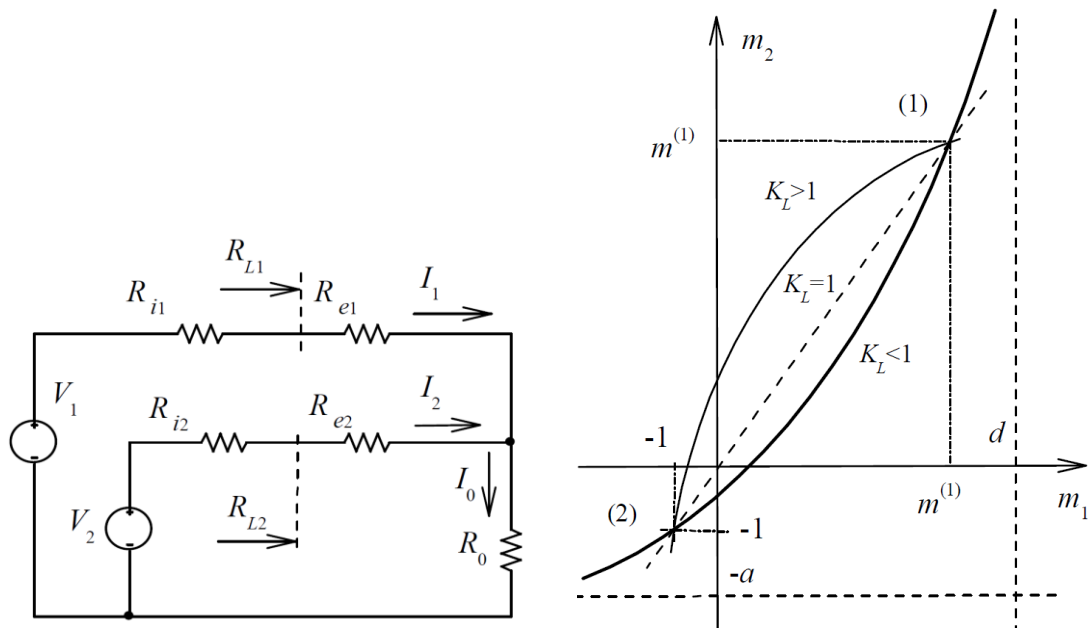


Fig. 2.12. Schema conectării în paralel și caracteristicile relative ale sarcinii surselor de tensiune.

Vom considera expresia $m_2(m_1)$ ca o transformare proiectivă $m_1 \rightarrow m_2$ cu două puncte fixe. Raportul anarmonic pentru valorile actuale m_1, m_2 față de punctele fixe

$$(m^{(2)} \ m_2 \ m_1 \ m^{(1)}) = \frac{m_2 - m^{(2)}}{m_2 - m^{(1)}} \div \frac{m_1 - m^{(2)}}{m_1 - m^{(1)}}.$$

În geometria proiectivă este cunoscut, că valoarea raportului anarmonic față de punctele fixe nu depinde de valorile curențe m_1, m_2

$$(m^{(2)} \ m_2 \ m_1 \ m^{(1)}) = \frac{V_2}{V_1} \frac{1 + \frac{R_{e2}}{R_{i2}}}{1 + \frac{R_{e1}}{R_{i1}}} = K_L.$$

Valoarea K_L este determinată numai de parametrii circuitului și nu depinde de schimbările sarcinii. Analiza expresiei K_L arată, că pot fi valori $K_L > 1, K_L < 1, K_L = 1$. Prin urmare, valoarea aceasta (*factorul încărcăturii*) caracterizează „capacitatea” circuitului la încărcături egale ale surselor de tensiune. În cazul particular, când

$$V_1 = V_2, \frac{R_{e2}}{R_{i2}} = \frac{R_{e1}}{R_{i1}},$$

factorul încărcăturii $K_L = 1$. Atunci, balanța curenților nu depinde de sarcină.

Circuit cu două sarcini. Coordonatele proiective ale punctului pe plan.

Schimbarea independentă a curenților. Să analizăm circuitul din figura 2.13a cu două sarcini și cu conductibilitățile Y_{L1}, Y_{L2} . Familia caracteristicilor de sarcină (liniile paralele) coincid cu sistemul de coordonate dreptunghiular în planul euclidian din figura 2.13b. În planul proiectiv această familie reprezintă fascicole de linii drepte, care formează triunghiul coordonat cu centrele fascicolelor în punctele de la infinit ∞ din figura 2.13c.

Schimbarea dependentă a curenților. Fie că rezistența internă R_i a sursei de tensiune are valoarea finită. Schimbarea dependentă a curenților de sarcini din figura 2.14, ca grilă "distorsionată" de coordonate, corespunde planului proiectiv.

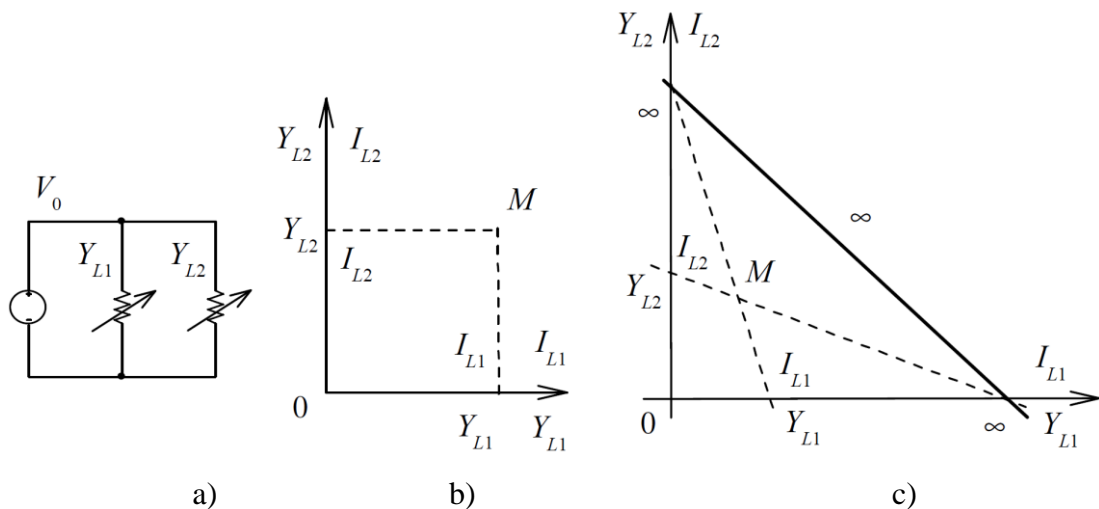


Fig. 2.13. Cvadripolul activ - a), caracteristica de sarcină:
 b)- în planul euclidian, c)- în planul proiectiv.

Triunghiul coordonat este alcătuit din trei puncte de bază $I_M, 0, I_M$. Centrele fascicolelor (regimuri caracteristice) ale caracteristicilor de sarcină se află în punctele $I_M = V_0 / R_i$. Prin centrele acestea trece linia curenților maximal I_M ca o dreaptă îndepărtată la infinit.

Axele de coordonate pot fi gradate în valorile curenților respectivi sau de conductibilitățile sarcinilor. În acest caz este deja o scară internă – valoarea conductibilității $Y_i = 1/R_i$ sau valoarea curenților I_M . Prezența punctului unic al patrulă (caracteristic) M_i permite de introdus raportul anarmonic m_{L1}, m_{L2} și de stabilit regimul într-o formă relativă analogică expresiilor (2.11, 2.12).

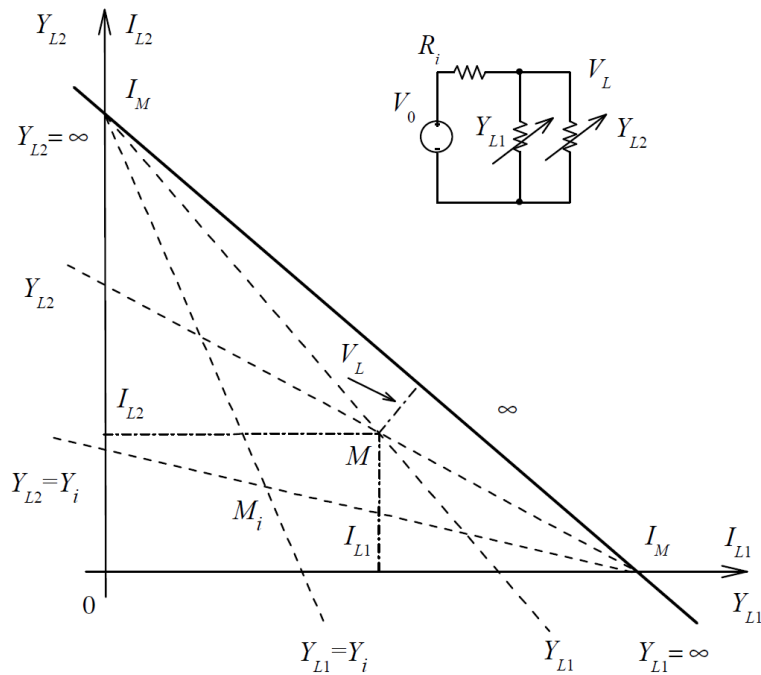


Fig.2.14. Schimbarea dependentă a curenților de sarcină a cvadripolului activ.

Punctul regimului curent M poate fi stabilit sau prin conductibilitățile sarcinilor (coordonatele neomogene) $M(Y_{L1}, Y_{L2})$, sau prin curenții de sarcină (coordonatele omogene) $M(I_{L1}, I_{L2}, V_L)$.

Convertoarele tensiunii de sarcină cu sursa de tensiune cu putere limitată. Să examinăm sistemul de alimentare cu două sarcini în figura 2.15. Fie că regimul de lucru corespunde condițiilor

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1 = \text{const} = V_{1e}, R_1 = \text{var} \\ V_2 = \text{var}, R_2 = \text{const} \end{array} \right\} n_1, n_2 = \text{var}.$$

Atunci în planul conformal n_1, n_2 , obținem traiectoriile specifice – familia arcurilor de cerc L , ortogonale pe cercul extern sau absolut. Punctul de lucru trebuie să se afle în interiorul zonei de lucru sau a cercului $(n_1)^2 + (n_2)^2 \leq 1$. Prin urmare, ajungem la modelul Poincare a planului hiperbolic. Arcurile cercului L sunt "linii drepte" în acest model. La rândul său, arcurile cercului K sunt ortogonale la cercurile L . Distanța hiperbolică între aceste cercuri K (echidistante) este constantă.

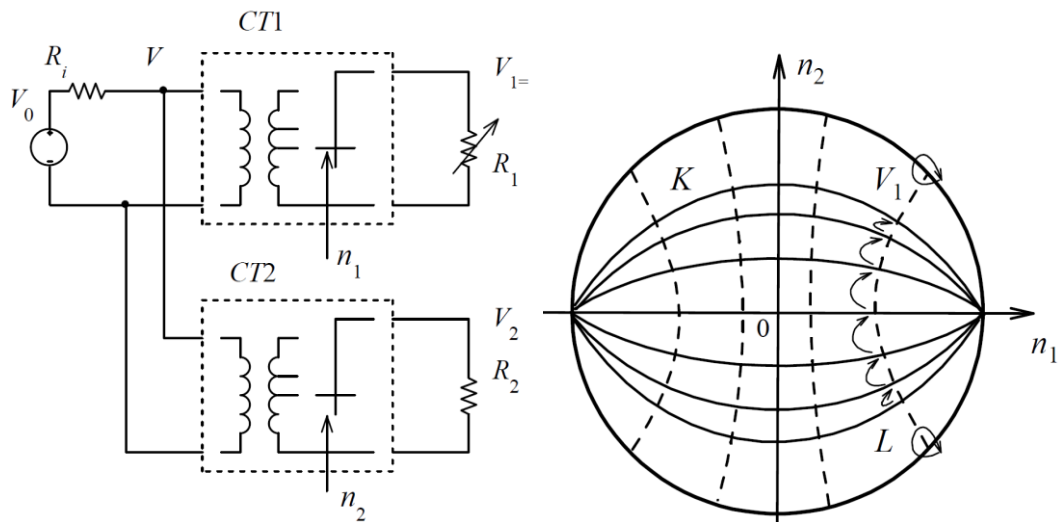


Fig. 2.15. Sistemul de alimentare cu convertoare de tensiune $CT1, CT2$ și familia caracteristicilor de reglare ca model al planului hiperbolic.

La apropierea de absolut, schimbarea valorilor n_1, n_2 se micșorează, așa cum este indicat prin săgeți. La absolut punctul de lucru va fi fix.

2.4. Tipuri de circuite și structura obiectivului

Reeșind din exemplele de circuite examinate mai sus, apar două direcții de cercetare - circuite (rețele) rezistive și circuite cu convertori de tensiune CT . La rândul său, circuitele rezistive se împart în două tipuri conform figurii 2.16. Schimbarea regimului de lucru conduce la o distorsionare a grilei caracteristicilor de lucru (fascicolelor de linii drepte) și utilizarea transformărilor proiective corespunzătoare.

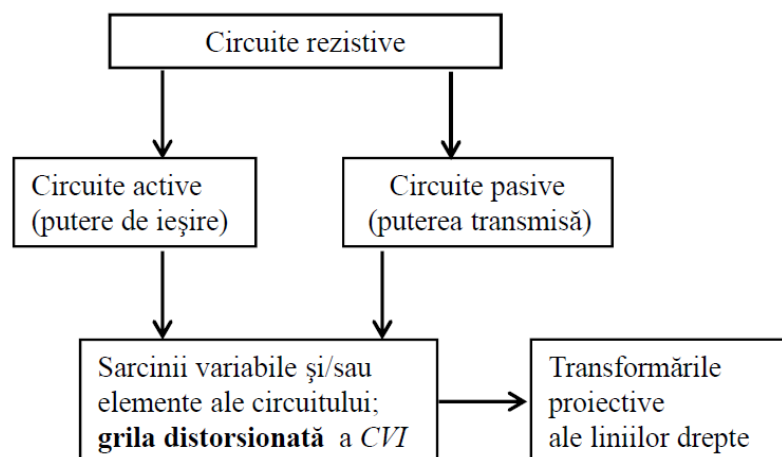


Fig. 2.16. Tipurile circuitelor rezistive și sensul interpretării geometrice.

Circuite cu CT după tipul caracteristicilor de lucru se împart în două tipuri conform figurii 2.17.

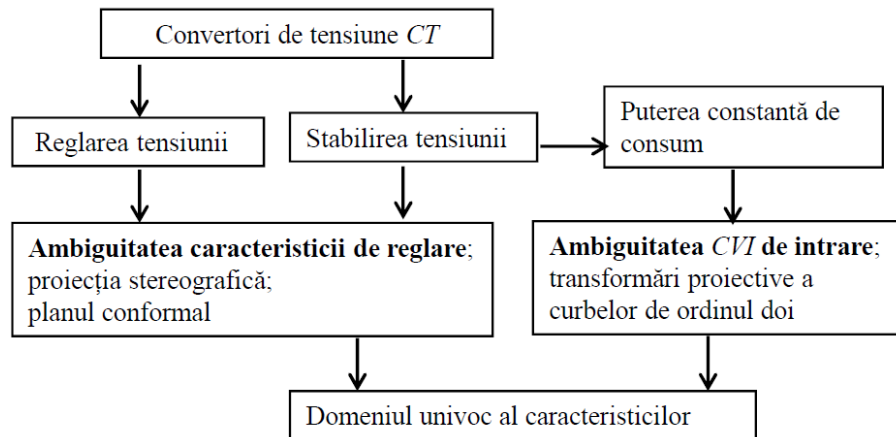


Fig. 2.17. Tipuri de circuite cu CT și sensul interpretării geometrice.

Caracteristicile de reglare a CT (cu reglarea și stabilizarea tensiunii) conduce la proiecția stereografică și planul conformal. La rândul său, CVI de intrare cu puterea de consum constantă determină utilizarea transformărilor proiective corespunzătoare.

Să examinăm problemele rezolvabile pentru circuitele rezistive și CT .

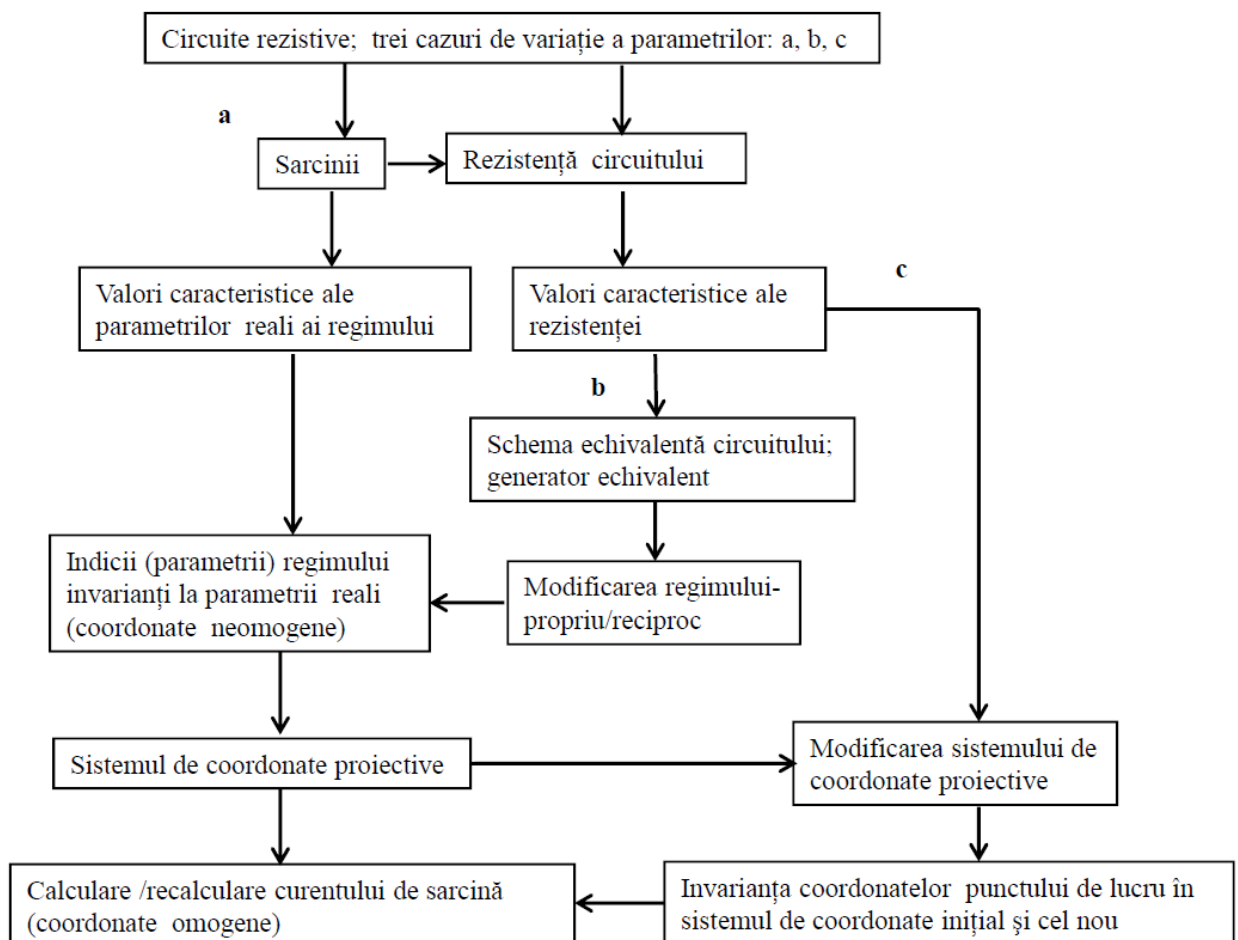


Fig. 2.18. Structura obiectivelor circuitelor rezistive active.

Pentru circuitele rezistive active se cercetează trei cazuri de variație a parametrilor: numai sarcinile sunt variabile -a), rezistența variabilă (element) a circuitului și sarcinile variabile – b), numai rezistența variabilă – c), prezentate în figura 2.18. În toate cazurile este utilizată abordarea generală. Se determină valorile caracteristice ale parametrilor variabili, ceea ce permite de introdus indicatorii invarianți ai regimului, sistemul de coordonate proiective și de obținut formula de recalculare a curenților de sarcină.

Pentru circuitele rezistive pasive din figura 2.19 se introduc sistemele de coordonate proiective la intrare și ieșire, se utilizează coordonatele invariante ale punctelor de lucru, ce permite să se calculeze conductibilitățile sarcinilor după curenții de intrare.

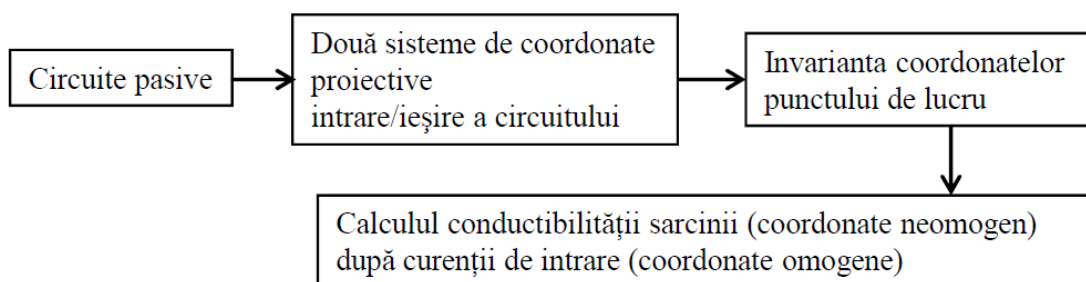


Fig. 2.19. Structura obiectivelor circuitelor rezistive pasive

Pentru circuitele cu CT din figura 2.20 se introduc indicii regimului invariant, schimbările parametrilor regimului și sunt propuse formulele de calcul a parametrilor ulteriori a regimului.

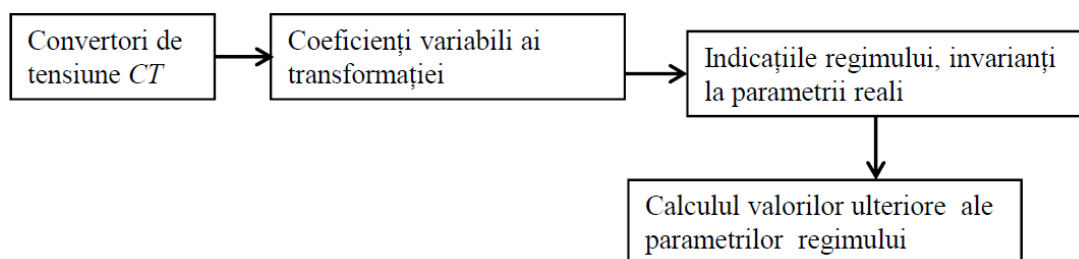


Fig.2.20. Structura obiectivelor circuitului cu CT .

2.5. Concluzii la Capitolul 2

1. Exemplele circuitelor examinate a demonstrează posibilitatea utilizării geometriei proiective la interpretarea caracteristicilor de lucru.
2. Abordarea geometrică prezentată justifică determinarea regimului de lucru într-o formă relativă sau normalizată.
3. Schimbarea globală a parametrilor regimului permite găsirea punctelor necesare ale regimurilor caracteristice.
4. Rezultatele obținute oferă baza pentru reprezentarea în continuare a circuitelor importante în practică.

3. APLICAREA METODEI GEOMETRICE LA CIRCUITELE CU REZISTENȚĂ

3.1. Multipoli activi

3.1.1. Coordonatele proiective. Recalcularea curenților de sarcină

Circuit cu două sarcini. Cazul general al coordonatelor centrelor fasciculelor liniilor drepte de sarcină in plan. Vom reda in figura 3.1 caracteristicile de sarcină a cvadripolului activ cu două sarcini

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{12} & -Y_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_1^{SC} \\ I_2^{SC} \end{bmatrix}. \quad (3.1)$$

Luând în considerare tensiunea de sarcină $V_1 = I_1 / Y_{L1}$, $V_2 = I_2 / Y_{L2}$ obținem expresia celor două fascicule $(I_1, I_2, Y_{L1}) = 0$, $(I_1, I_2, Y_{L2}) = 0$ de linii drepte. Conductibilitățile Y_{L1}, Y_{L2} sunt parametrii fasciculelor. Centrele acestor fascicule determină moduri caracteristice suplimentare [79]. În special, centrul fascicolului G_1 nu depinde de conductibilitatea Y_{L2} , ce corespunde curentului $I_2 = 0$ și parametrilor sarcinii inițiale $Y_{L1} = Y_{L1}^{G1} = I_1^{G1} / V_1^{G1} < 0$. În mod similar, centrul fascicolului G_2 se determină cu parametrii sarcinii a doua $Y_{L2} = Y_{L2}^{G2} = I_2^{G2} / V_2^{G2} < 0$.

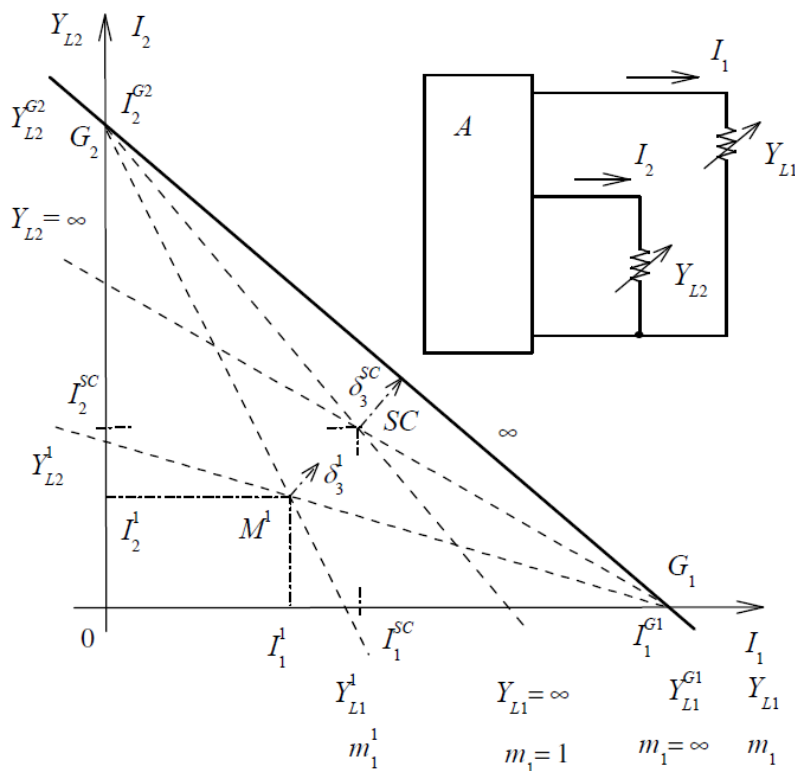


Fig. 3.1. Două fascicule de linii drepte de sarcină cu parametrii Y_{L1}, Y_{L2} .

Triunghiul de coordonate obținut $G_1O G_2$ și punctul unitar SC (regimul SC) redau un sistem de coordonate proiective. Dreapta G_1G_2 o acceptăm ca o linie dreaptă la infinit. Atunci se evidențiază câte trei valori de sarcină caracteristice

$$Y_{L1} = 0, Y_{L1} = \infty, Y_{L1}^{G1}; \quad Y_{L2} = 0, Y_{L2} = \infty, Y_{L2}^{G2}.$$

Prin urmare, putem exprima coordonatele neomogene pentru valorile curenți (inițiale) a sarcinilor ca un raport anarmonic de patru puncte,

$$m_2^1 = (0 Y_{L2}^1 \infty Y_{L2}^{G2}) = \frac{Y_{L2}^1}{Y_{L2}^1 - Y_{L2}^{G2}} = \frac{\xi_2^1}{\xi_3^1}, \quad m_2^1 = (0 Y_{L2}^1 \infty Y_{L2}^{G2}) = \frac{Y_{L2}^1}{Y_{L2}^1 - Y_{L2}^{G2}} = \frac{\xi_2^1}{\xi_3^1}, \quad (3.2)$$

unde coordonatele omogene sunt

$$\xi_1^1 = \frac{I_1^1}{I_1^{SC}}, \quad \xi_2^1 = \frac{I_2^1}{I_2^{SC}}, \quad \xi_3^1 = \frac{\delta_3^1}{\delta_3^{SC}}. \quad (3.3)$$

Calculul curenților de sarcină. Din relațiile (3.3, 3.2), obținem expresiile pentru curenții

$$\frac{I_1^1}{I_1^{G1}} = \frac{\frac{I_1^{SC}}{I_1^{G1}} m_1^1}{\frac{I_1^{SC}}{I_1^{G1}} (m_1^1 - 1) + \frac{I_2^{SC}}{I_2^{G2}} (m_2^1 - 1) + 1}, \quad \frac{I_2^1}{I_2^{G2}} = \frac{\frac{I_2^{SC}}{I_2^{G2}} m_2^1}{\frac{I_1^{SC}}{I_1^{G1}} (m_1^1 - 1) + \frac{I_2^{SC}}{I_2^{G2}} (m_2^1 - 1) + 1}. \quad (3.4)$$

În așa mod, la început găsim valorile caracteristice ale conductibilității și curenților. Apoi, pentru conductibilitățile anumitor sarcini găsim coordonatele neomogene, iar apoi înșși curenții de sarcină.

Valorile normalizate justificate obținute (3.4) determină caracteristicile de calitate ale regimului - modul în care parametrii regimului curent sunt similare cu valorile caracteristice $I_1^{G1}, I_2^{G2}, Y_{L1}^{G1}, Y_{L2}^{G2}$. Se poate de menționat, că sistemul inițial de ecuații (3.1) este mai puțin informativ, deoarece conține valorile absolute (actuale) ale parametrilor.

Vom arăta cum să prezentăm în mod relativ sistemul original de ecuații. Pentru aceasta coordonatele neomogene (3.2) se exprimă prin curenți și tensiuni de sarcină. Apoi, vom obține expresiile pur relative

$$\frac{I_1}{I_1^{G1}} = \left(1 - \frac{I_1^{SC}}{I_1^{G1}}\right) \frac{V_1}{V_1^{G1}} - \left(\frac{I_1^{SC}}{I_1^{G1}}\right) \frac{V_2}{V_2^{G2}} + \frac{I_1^{SC}}{I_1^{G1}},$$

$$\frac{I_2}{I_2^{G2}} = -\left(\frac{I_2^{SC}}{I_2^{G2}}\right) \frac{V_1}{V_1^{G1}} + \left(1 - \frac{I_2^{SC}}{I_2^{G2}}\right) \frac{V_2}{V_2^{G2}} + \frac{I_2^{SC}}{I_2^{G2}}.$$

Componentele din paranteze reprezintă un fel de parametri Y "normalizați".

Recalcularea curenților de sarcină. Fie regimul următor corespunde punctului M^2 și se specifică conductibilitatea sarcinilor Y_{L1}^2, Y_{L2}^2 . Schimbarea regimului îl exprimăm printr-un raport anarmonic

$$m_1^{21} = (0 Y_{L1}^2 Y_{L1}^1 Y_{L1}^{G1}) = \frac{Y_{L1}^2 - 0}{Y_{L1}^2 - Y_{L1}^{G1}} \div \frac{Y_{L1}^1 - 0}{Y_{L1}^1 - Y_{L1}^{G1}} = m_1^2 \div m_1^1, \quad m_2^{21} = (0 Y_{L2}^2 Y_{L2}^1 Y_{L2}^{G2}) = m_2^2 \div m_2^1.$$

Folosind formulele de calcul a curenților (3.4), în mod similar obținem curenții următori sau secundari în raport de curenții inițiali sau primari.

$$I_1^2 = \frac{I_1^1 m_1^{21}}{\frac{I_1^1}{I_1^{G1}} (m_1^{21} - 1) + \frac{I_2^1}{I_2^{G2}} (m_2^{21} - 1) + 1}, \quad I_2^2 = \frac{I_2^1 m_2^{21}}{\frac{I_1^1}{I_1^{G1}} (m_1^{21} - 1) + \frac{I_2^1}{I_2^{G2}} (m_2^{21} - 1) + 1} \quad (3.5)$$

Să notăm avantajul expresiilor obținute – se îndeplinește proprietatea de grup. Atunci, regimul al treilea următor se exprimă prin schimbarea în raport cu primul sau al doilea regim.

$$m_1^3 = m_1^{32} \cdot m_1^2 = m_1^{32} \cdot m_1^{21} \cdot m_1^1 = m_1^{31} \cdot m_1^1, \quad m_2^3 = m_2^{32} \cdot m_2^2 = m_2^{32} \cdot m_2^{21} \cdot m_2^1 = m_2^{31} \cdot m_2^1.$$

Prin urmare, ai treilea curenți sunt exprimați în raport cu primii sau curenții ai doilea.

$$I_1^3 = (I_1^1, m_1^{31}, I_2^1, m_2^{31}) = (I_1^2, m_1^{31}, I_2^2, m_2^{31}), \quad I_2^3 = (I_1^1, m_1^{31}, I_2^1, m_2^{31}) = (I_1^2, m_1^{31}, I_2^2, m_2^{31}).$$

Pentru claritate, algoritmul prezentat pentru calcularea și recalcularea curenților este prezentat în figura 3.2. Să notăm, că nu este necesar să se calculeze în mod direct întregul circuit cu valorile inițiale ale sarcinilor.

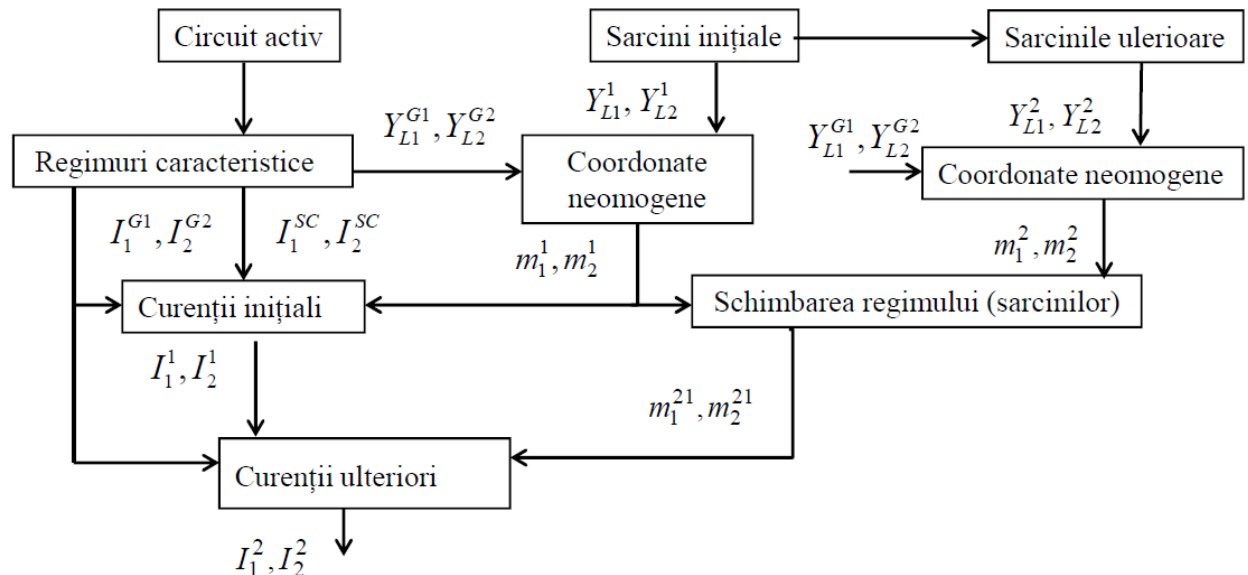


Fig. 3.2. Aloritm de calcul și recalcul al curenților sarcinilor variabile.

Circuit cu trei sarcini. Coordonatele proiective în spațiu. Un caz general al sistemului de alimentare cu energie este prezentat în figura 3.3. Trei (și mai multe sarcini) sunt unite la o sursă comună de tensiune (nodul comun N) prin cvadripolii rezistivi individuali $4P1, 4P2, 4P3$. Se manifestă interacțiunile sarcinilor datorate conductibilităților interioare y_{0N}, y_N a sursei de tensiune.

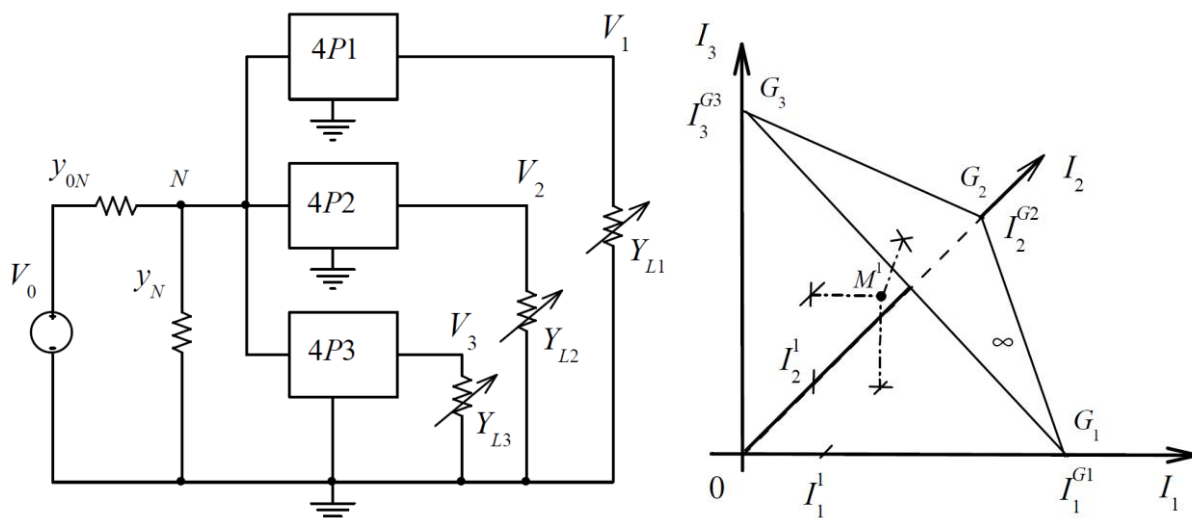


Fig. 3.3. Sistemul de alimentare cu o sursă comună de tensiune și tetraedrul de coordonate $0G_1G_2G_3$.

Axele fasciculelor de planuri $(I_1, I_2, I_3, Y_{L1}) = 0$, $(I_1, I_2, I_3, Y_{L2}) = 0$, $(I_1, I_2, I_3, Y_{L3}) = 0$ se află în planul infinit. Tetraedrul de coordonate obținut $0G_1G_2G_3$ și unicul punct SC (regimul SC) specifică sistemul de coordonate proiective. În mod similar, obținem coordonatele m_1^1, m_2^1, m_3^1 neomogene și formulele de calcul a curenților.

$$\frac{I_1}{I_1^{G1}} = \frac{\frac{I_1^{SC}}{I_1^{G1}} m_1}{(m_1, m_2, m_3)}, \quad \frac{I_2}{I_2^{G2}} = \frac{\frac{I_2^{SC}}{I_2^{G2}} m_2}{(m_1, m_2, m_3)}, \quad \frac{I_3}{I_3^{G3}} = \frac{\frac{I_3^{SC}}{I_3^{G3}} m_3}{(m_1, m_2, m_3)},$$

$$\frac{1}{(m_1, m_2, m_3)} = \frac{1}{\frac{I_1^{SC}}{I_1^{G1}} (m_1 - 1) + \frac{I_2^{SC}}{I_2^{G2}} (m_2 - 1) + \frac{I_3^{SC}}{I_3^{G3}} (m_3 - 1) + 1}.$$

În cazul general al multipolului, axele a trei fascicule de planuri nu se află într-un plan în figura 3.4. Dar aceste axe se vor afla într-un plan dacă vor fi asigurate condițiile $I_1(Y_{L2}) = I_1(Y_{L3}) = I_1^{G1}$, $I_2(Y_{L1}) = I_2(Y_{L3}) = I_2^{G2}$, $I_3(Y_{L1}) = I_3(Y_{L2}) = I_3^{G3}$.

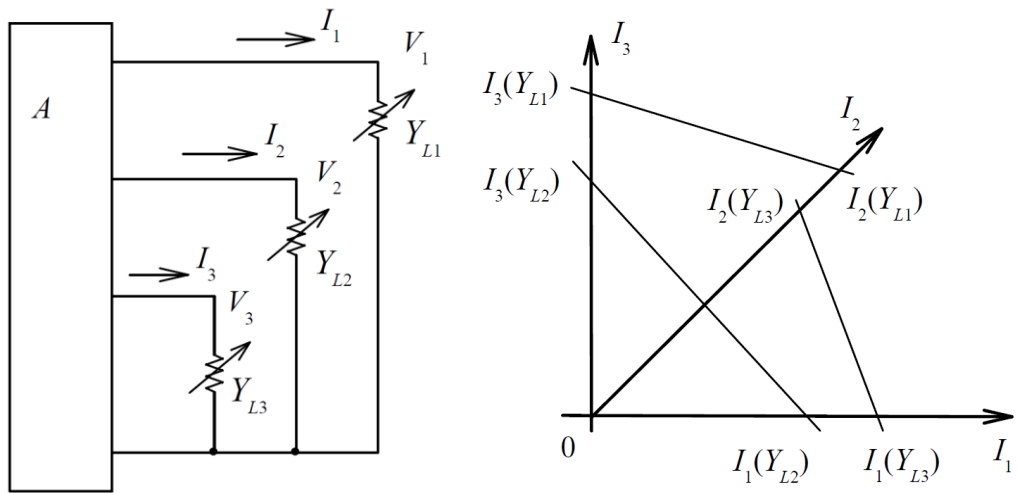


Fig. 3.4. Circuit cu trei sarcini cu o poziție arbitrară a axelor fasciculelor plane de sarcină cu parametrii Y_{L1}, Y_{L2}, Y_{L3} .

În acest caz, se ajunge la așa-numitul circuit echilibrat [76] din figura 3.5.

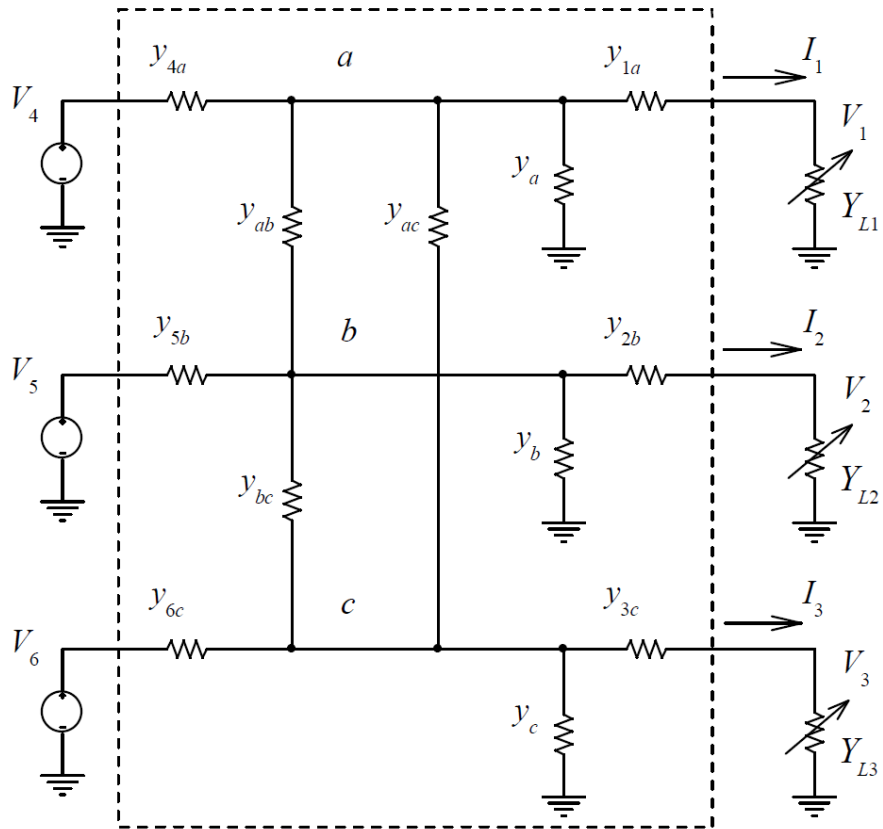


Fig. 3.5. Sistemul de alimentare distribuit ca un circuit echilibrat.

Să presupunem că cele mai puternice elemente corespund V_5, Y_{L2} . Atunci conductibilitățile $y_{5b}, y_{bc}, y_{ab}, y_{4a}$ sunt setate independent. Pentru celelalte elemente se îndeplinesc condițiile

$$\frac{y_{4a}}{y_{ab}} V_4 = \frac{y_{6c}}{y_{bc}} V_6, \quad \frac{y_{4a}}{y_{ac}} V_4 = \frac{y_{5b}}{y_{bc}} V_5.$$

Valorile primite nu limitează posibilitatea circuitului, dar semnificativ simplifică recalcularea curenților.

3.1.2. Rezistență internă variabilă

Dipol activ cu rezistență variabilă. Să examinăm un generator de circuit echivalent cu rezistența internă variabilă R_i din figura 3.6. Familia de caracteristici cu parametrul R_i prezintă un fascicul de linii drepte cu centrul G . Coordonata acestui centru nu depinde de rezistența R_i . Rezistența R_i primește două valori caracteristice $0, \infty$. În mod similar, familia de caracteristici cu parametrul R_L prezintă un fascicol de linii drepte cu centrul 0 . Rezistența R_L poate lua de asemenea două valori caracteristice $0, \infty$. Astfel, punctele $0, G$ pe axa tensiunii sunt puncte ale regimurilor caracteristice.

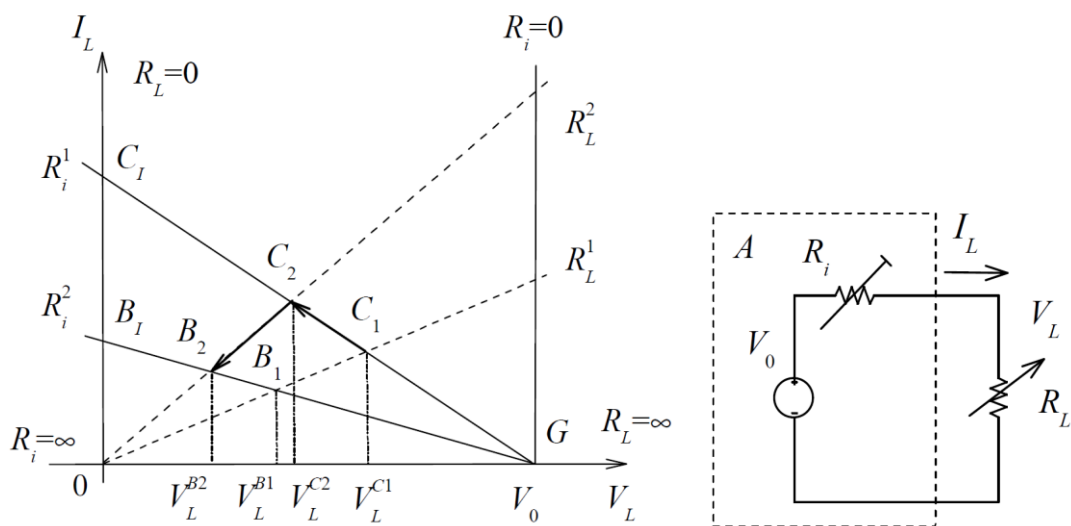


Fig. 3.6. Familia caracteristicilor tensiune - curent CVI a generatorului echivalent cu rezistență internă variabilă.

Schimbarea regimului propriu $C_1 \rightarrow C_2$, $B_1 \rightarrow B_2$ din cauza schimbării sarcinii [80]

$$m_L^{21} = (C_1 C_2 C_1 G) = (B_1 B_2 B_1 G) = (0 R_L^2 R_L^1 \infty) = \frac{R_L^2}{R_L^1}, \quad (3.6)$$

$$m_L^{21} = (0 V_L^{C2} V_L^{C1} V_0) = \frac{V_L^{C2} - 0}{V_L^{C2} - V_0} \div \frac{V_L^{C1} - 0}{V_L^{C1} - V_0}.$$

În mod similar, schimbarea relativă a regimului $C_2 \rightarrow B_2$, $C_1 \rightarrow B_1$ din cauza schimbării rezistenței interne

$$m_i^{21} = (0 B_2 C_2 A_2) = (0 B_1 C_1 A_1) = (\infty R_i^2 R_i^1 0) = \frac{R_i^1}{R_i^2}, \quad m_i^{21} = (0 V_L^{B2} V_L^{C2} V_0) \quad (3.7)$$

Schimbarea totală a regimului corespunde $C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow B_2$ cu punctele de bază comune $0, G$

$$m^{21} = m_i^{21} m_L^{21} = \frac{R_i^1 R_L^2}{R_i^2 R_L^1}, \quad m^{21} = \frac{V_L^{B2} - 0}{V_L^{B2} - V_0} \div \frac{V_L^{C1} - 0}{V_L^{C1} - V_0} = (0 V_L^{B2} V_L^{C1} V_0).$$

De aici reiese formula de recalcul a tensiunii ca o expresie fracționată liniară

$$\frac{V_L^{B2}}{V_0} = \frac{\frac{V_L^{C1}}{V_0} m^{21}}{\frac{V_L^{C1}}{V_0} (m^{21} - 1) + 1}.$$

Generator activ echivalent generalizat a dipolului cu rezistență variabilă. Presupunem, că în dipolul activ se schimbă o oarecare rezistență R din figura 3.7. Pentru diferite valori a rezistenței R , (R^1, R^2 și alt.) obținem caracteristici de sarcină corespunzătoare.

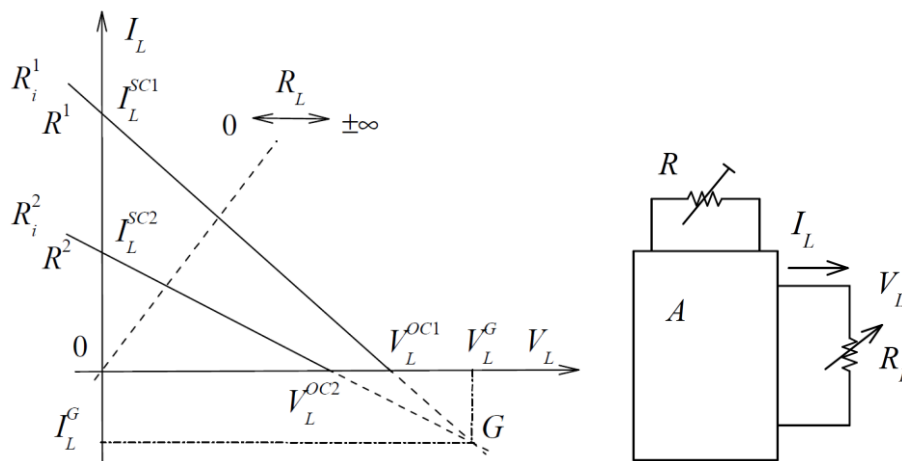


Fig.3.7. Familia CVI a dipolului activ cu rezistență variabilă R .

Un fascicol de aceste caracteristici definește două tipuri de generatoare echivalente din figura 3.8. În generatorul echivalent tradițional se schimbă rezistența internă R_i și tensiunea cursa în gol V_L^{OC} . De aceea este necesar de recalcularea celor doi parametri.

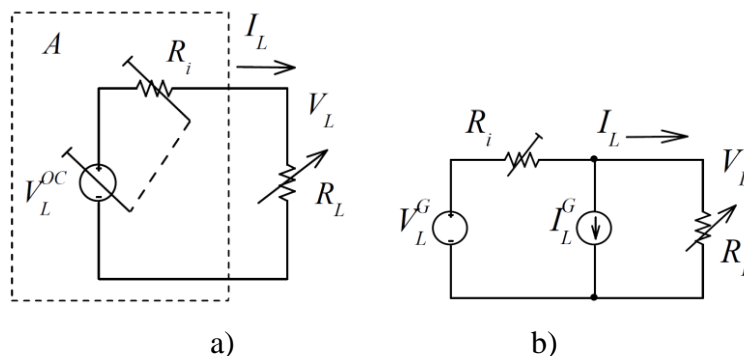


Fig. 3.8. Generatorul echivalent tradițional - a) și generatorul echivalent generalizat -b) al dipolului activ.

Pe de altă parte, se atrage atenția asupra unui regim caracteristic suplimentar din figura 3.7 – punctul G nu depinde de schimbarea rezistenței R . Atunci ecuația CVI , care trece prin punctul G , are aspectul

$$I_L + I_L^G = \frac{V_L^G}{R_i} - \frac{V_L}{R_i}.$$

Această expresie definește generatorul echivalent generalizat [81]; este necesar recalculul unuia din parametrii R_i . Analogic cu expresiile similare (3.6, 3.7) se introduce schimbarea regimului, dar față de punctele $0, G$.

Generatoarele active generalizate ale multipolurilor cu nodul comun se pot de introdus pentru două, trei și mai multe sarcini [82]. În figura 3.9 este expus un astfel de generator echivalent cu două sarcini. În cazul a trei sarcini, ținând seama de principiul superpoziției, parametrii generatorului sunt reduse de trei ori.

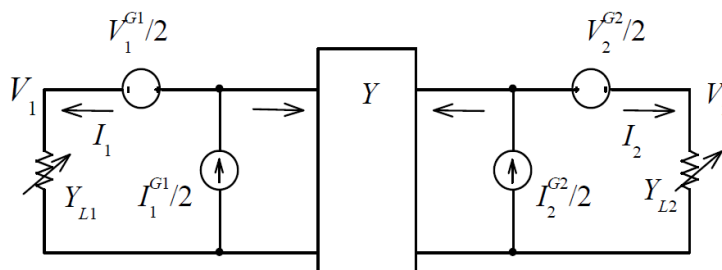


Fig. 3.9. Generatorul echivalent generalizat al multipolului activ cu două sarcini.

3.1.3. Sarcini specificate. Modificarea conductibilității în linia comună de alimentare.

Să presupunem acum, că se modifică conductibilitatea $y_N \rightarrow \bar{y}_N$ în schema din figura 3.10. Aceasta aduce la schimbarea punctului inițial de lucru $M \rightarrow \bar{M}$ și punctele de scurtcircuit $SC \rightarrow \bar{SC}$ pe familia CVI. Dar linia dreaptă $G_1 G_2$ este fixă. Punctul 0, ca regimul CG, de asemenea, nu depinde de elementul y_N .

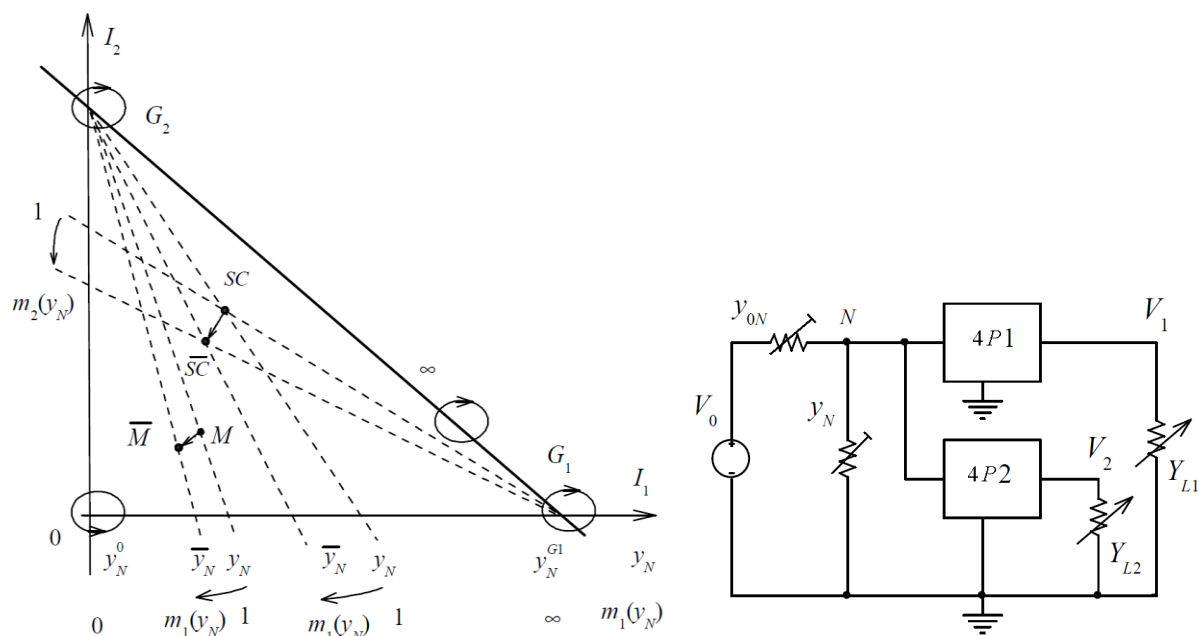


Fig. 3.10. Familia CVI a sistemului de alimentare cu conductibilitate variabilă y_N .

Influența conductibilității y_N o interpretăm ca o transformare proiectivă a planului I_1, I_2 . Această transformare este similară cu transformarea (3.5) și vă permite calcularea următorilor curenți \bar{I}_1, \bar{I}_2 a punctului \bar{M} [83]

$$\bar{I}_1 = \frac{I_1 m_N}{\frac{I_1}{I_1^{G1}}(m_N - 1) + \frac{I_2}{I_2^{G2}}(m_N - 1) + 1}, \quad \bar{I}_2 = \frac{I_2 m_N}{\frac{I_1}{I_1^{G1}}(m_N - 1) + \frac{I_2}{I_2^{G2}}(m_N - 1) + 1}.$$

Schimbarea y_N este reprezentată de raportul anarmonic dintre cele patru puncte

$$m_N = (\infty \bar{y}_N y_N - y_N^i) = \frac{y_N + y_N^i}{\bar{y}_N + y_N^i}.$$

Valoarea y_N^i este conductibilitatea internă a întregului circuit față de clemele conductibilității deconectate y_N .

Considerații similare fac posibilă obținerea formulei de recalculare a curenților de sarcină la schimbarea conductibilității y_{0N} .

3.2. Multipoli pasivi

Este cunoscută dependența conductibilității de intrare a cvadripolului simetric $4P$ de conductibilitatea sarcinii sub forma unei expresii fracționar – liniară

$$\frac{Y_{IN1}}{\rho} = \frac{\frac{Y_{L1}}{\rho} + th\gamma}{1 + \frac{Y_{L1}}{\rho} th\gamma},$$

unde ρ - conductibilitatea caracteristică, γ - atenuarea.

Acest lucru, în esență, este o transformare proiectivă $Y_{L1} \rightarrow Y_{IN1}(Y_{L1})$ prezentată din figura 3.11.

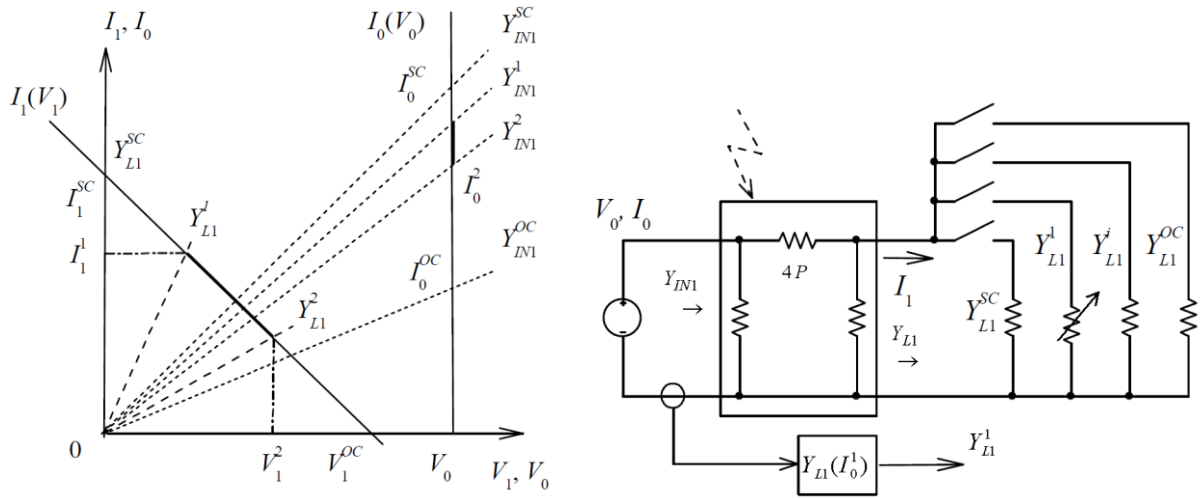


Fig. 3.11. Conformitatea de intrare și ieșire CVI a cvadripolului.

Transformarea proiectivă invariantă [84]

$$\begin{aligned} m_{L1}^1 &= (Y_{L1}^{SC} \ Y_{L1}^i \ Y_{L1}^j \ Y_{L1}^{OC}) = (Y_{IN1}^{SC} \ Y_{IN1}^i \ Y_{IN1}^j \ Y_{IN1}^{OC}) = \\ &= (I_0^{SC} \ I_0^i \ I_0^j \ I_0^{OC}) = \frac{I_0^i - I_0^{SC}}{I_0^i - I_0^{OC}} \div \frac{I_0^j - I_0^{SC}}{I_0^j - I_0^{OC}}. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Invarianta prezentată permite măsurarea conductibilității sarcinii printr-un cvadripol instabil. În acest scop, sunt transmise patru valori de probă a conductibilității într-un timp relativ scurt: de testare $Y_{L1}^{SC}, Y_{L1}^i, Y_{L1}^{OC}$ și proba informativă Y_{L1}^j . Apoi, componenta informațională este recuperată prin curenții de intrare

$$Y_{L1}^j = Y_{L1}(m_{L1}^1); m_{L1}^1 = m_{L1}(I_0).$$

Să menționăm, că nu există cerințe speciale privind precizia de măsurare a curenților de intrare, din moment ce erorile (3.8) se micșorează reciproc. În mod similar, se ia în considerare conversia intrare - ieșire a liniei trifilare cu două sarcini [85] din figura 3.12.

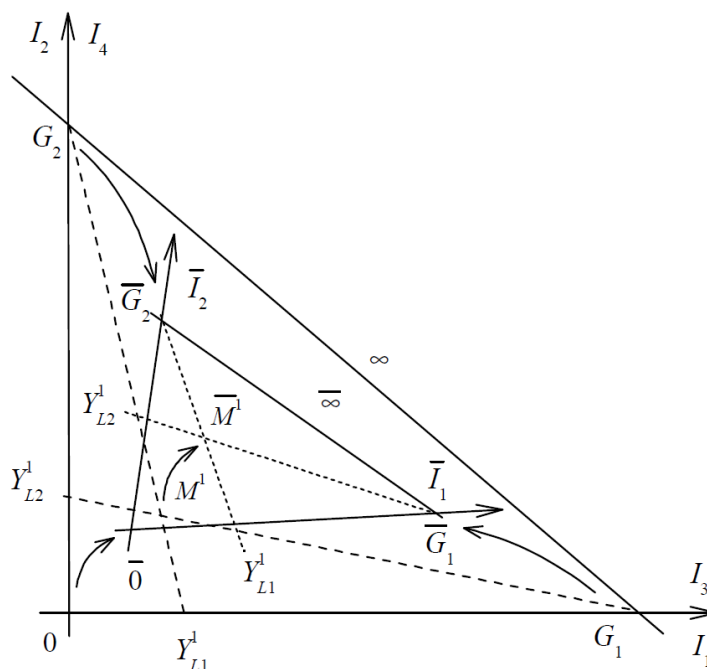


Fig. 3.12. Conformitatea triunghiurilor coordonate intrare – ieșire a liniei trifilate.

Coordonatele punctelor de lucru M^1, \bar{M}^1 în sistemele lor de coordonate sunt similare. Această caracteristică permite de măsurat conductibilitatea sarcinilor. În acest caz se folosesc patru probe de conductibilitate de testare. Aceeași abordare poate fi generalizată pe linia cu patru fire și cu trei sarcini [86].

3.3. Concluzii la Capitolul 3

1. Aceste exemple de circuite au demonstrat metoda de aplicare a geometriei proiective.
2. Geometria proiectivă în mod corespunzător interpretează „cinematica” circuitului, permite o analiză mai profundă, pentru a stabili sau pentru a compara diferite regimuri de circuit.
3. Au fost obținute formule de recalculare a curenților de sarcină prin metoda formalizată.
4. Coordonatele proiective permit calcularea conductibilității sarcinii numai după valorile măsurate ale curenților. Acest lucru este util în practică, atunci când din punct de vedere tehnic este dificil de măsurat tensiunea.
5. Abordarea de mai sus se aplică la analiza proceselor de tipul "streaming" de diferită natură fizică.

4. APLICAREA METODEI GEOMETRICE LA CONVERTORUL DE TENSIUNE CU CARACTERISTICI DE FUNȚIONARE NELINIARE

Convertoarele de tensiune în cazul surselor de alimentare cu energie limitată prezintă ambiguitate de reglare a caracteristicilor tensiune-curent (în continuare *CVI*) de intrare. De asemenea, se observă interferență sarcinii la limitarea puterii de sarcină.

Să examinăm variantele de bază ale schemelor [76].

4.1. Convertorul de tensiune cu o sarcină

4.1.1. Reglarea tensiunii de sarcină

Să examinăm circuitul din figura 4.1. Regimul de reglare a tensiunii de sarcină corespunde condiției $R_i = \text{const}$, $V_1 = \text{var}$, $n_1 = \text{var}$.

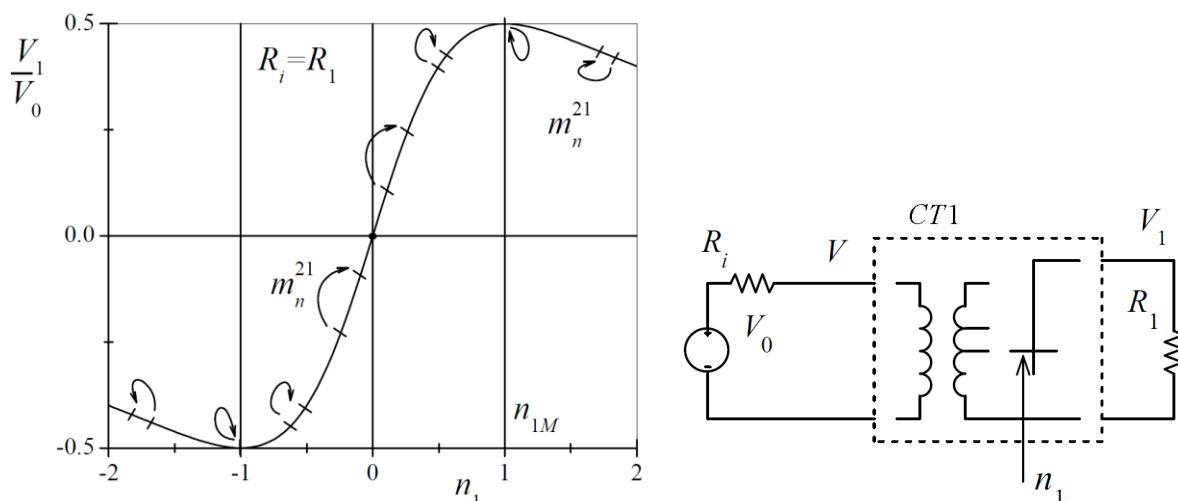


Fig. 4.1. Caracteristica de reglare extinsă a convertorului de tensiune *CT1*.

Folosim expresia caracteristicii de reglare (1.11)

$$V_1 = \frac{n_1 V_0}{1 + \frac{R_i}{R_1} (n_1)^2}. \quad (4.1)$$

Introducem caracteristica de reglare extinsă, ținând cont de intervalul $n_1 < 0$. Atunci intervalul de lucru unic corespunde modificării coeficientului de transformare la limita $-n_{1M} \leq n_1 \leq n_{1M}$.

Formam expresia unui raport anarmonic pentru regimul inițial [87].

$$m_n^1 = (-n_{1M} \ n_1^1 \ 0 \ n_{1M}) = \frac{n_1^1 + n_{1M}}{n_{1M} - n_1^1}, \quad m_V^1 = (-V_{1M} \ V_1^1 \ 0 \ V_{1M}) = \frac{V_1^1 + V_{1M}}{V_{1M} - V_1^1}.$$

Calcululele arată îndeplinirea proprietății

$$m_v = (m_n)^2.$$

Prin urmare, putem introduce metrice (de valori) hiperbolice

$$H = Ln m_v = 2Ln m_n.$$

Invarianta obținută corespunde valorilor egale pentru așa variabile cum ar fi n_1, V_1 . Se obține un fel de liniarizare a caracteristicii de reglare a convertorului de tensiune (în continuare CT).

Raportul anarmonic pentru schimbarea regimului

$$m_n^{21} = (-1 \bar{n}_1^2 \bar{n}_1^{-1} 1) = \frac{\bar{n}_1^2 + 1}{1 - \bar{n}_1^2} \div \frac{\bar{n}_1^{-1} + 1}{1 - \bar{n}_1^{-1}} = \left(1 + \frac{\bar{n}_1^2 - \bar{n}_1^{-1}}{1 - \bar{n}_1^2 \bar{n}_1^{-1}}\right) \div \left(1 - \frac{\bar{n}_1^2 - \bar{n}_1^{-1}}{1 - \bar{n}_1^2 \bar{n}_1^{-1}}\right).$$

Prin urmare, există toate motivele pentru a introduce o schimbare a coeficientului de transformare în forma

$$n_1^{21} = \frac{\bar{n}_1^2 - \bar{n}_1^{-1}}{1 - \bar{n}_1^2 \bar{n}_1^{-1}}. \quad (4.2)$$

În mod similar se obține schimbarea tensiunii de sarcină

$$V_1^{21} = \frac{\bar{V}_1^2 - \bar{V}_1^{-1}}{1 - \bar{V}_1^2 \bar{V}_1^{-1}}.$$

Un argument în plus de utilizare a astfel de expresii pentru schimbarea parametrilor regimului este corespunderea expresiei caracteristicii de reglare (4.1)

$$V_1^{21} = \frac{2n_1^{21}}{1 + (n_1^{21})^2}.$$

La rândul său, următoarele valori ale parametrilor regimului au forma

$$\bar{n}_1^2 = \frac{\bar{n}_1^{-1} + n_1^{21}}{1 + \bar{n}_1^{-1} n_1^{21}}, \quad \bar{V}_1^2 = \frac{\bar{V}_1^{-1} + V_1^{21}}{1 + \bar{V}_1^{-1} V_1^{21}}.$$

Menționăm, că de fiecare dată la reglare valorile ulterioare cresc într-o măsură mai mică. La limita, $n_1^1 = 1 = n_1^2$.

4.1.2. Stabilizarea tensiunii de sarcină

Regimul de stabilizare corespunde condiției $V_1 = V_{1=} = \text{const}$, $R_1 = \text{var}$, $n_1 = \text{var}$.

Conform expresiei caracteristicii de reglare (4.1)

$$\frac{R_1}{R_i} = \frac{(n_1)^2}{n_1 \frac{V_0}{V_{1=}} - 1}.$$

Expresia obținută prezintă hiperbola din figura 4.2.

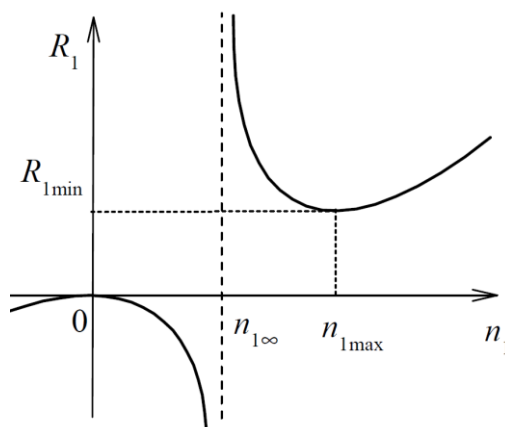


Fig. 4.2. Graficul dependenței coeficientului de transformare de rezistența sarcinii.

Reflectarea univocă a hiperbolei pe axa n_1 determină intervalul de variație a parametrilor

$$n_1 \leq n_{1\max} = 1, R_1 \geq R_{1\min},$$

$$n_{1\max} = 2 \frac{V_{1\neq}}{V_0}, R_{1\min} = 4R_i \frac{(V_{1\neq})^2}{(V_0)^2}, n_{1\infty} = \frac{V_{1\neq}}{V_0}.$$

Exprimarea unui raport anarmonic pentru regimul inițial [88]

$$m_n^1 = (0 \ n_1^1 \ n_{1\infty} \ n_{1\max}) = \frac{n_1^1 - 0}{n_1^1 - n_{1\max}} \div \frac{n_{1\infty} - 0}{n_{1\infty} - n_{1\max}} = \frac{n_1^1}{n_{1\max} - n_1^1},$$

$$m_R^1 = (0 \ R_1^1 \ \infty \ R_{1\min}) = \frac{R_1^1 - 0}{R_1^1 - R_{1\min}} = \frac{1}{1 - 4 \frac{R_i}{R_1^1} \frac{(V_{1\neq})^2}{(V_0)^2}}.$$

De asemenea, se manifestă proprietatea

$$m_R = (m_n)^2.$$

De aceea se poate de introdus metrica hiperbolică

$$H = Ln m_R = 2Ln m_n.$$

Invarianta obținută corespunde valorilor pentru așa variabile, cum ar fi n_1, R_1 .

Prezentăm schimbările similare ale parametrilor normalizați

$$R_1^{21} = \frac{R_1^2 - R_1^1}{R_1^2 + R_1^1 - 2R_1^2 R_1^1}, \quad n_1^{21} = \frac{n_1^2 - n_1^1}{n_1^2 + n_1^1 - 2n_1^2 n_1^1}, \quad (4.3)$$

și, de asemenea, se îndeplinește expresia

$$R_1^{21} = \frac{2n_1^{21}}{1 + (n_1^{21})^2}.$$

4.1.3. Consumator de putere constantă

Să examinăm *CVI* de intrare a convertorului de tensiune *CT* stabilizat pentru puterea de sarcină dată în figura 4.3. Puterea sarcinii

$$P = \frac{(V_{1=})^2}{R_1} = IV \quad (4.4)$$

determină hiperbola $I = P/V$. În așa mod, se introduce un element nou – consumator de putere constantă (în continuarea *CPC*) [89, 90].

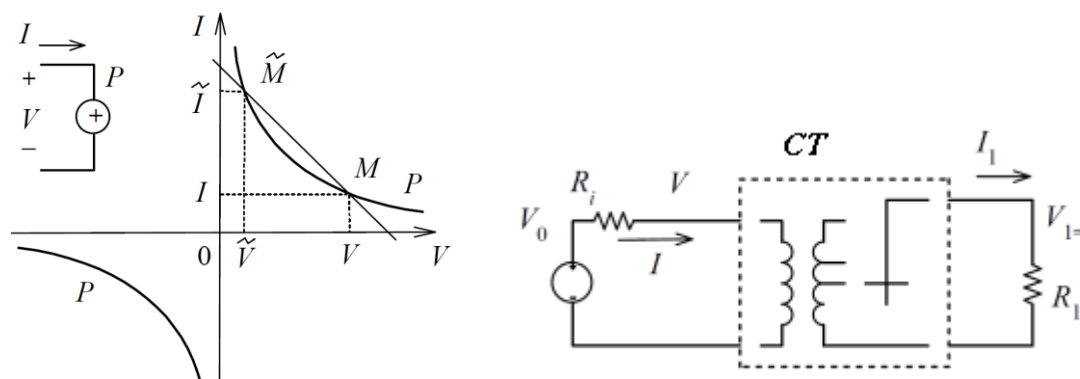


Fig. 4.3. *CVI* a convertorului de tensiune ca consumator de putere constantă.

La rândul său, *CVI* a sursei de tensiune V_0 cu putere limitată

$$I = \frac{V_0}{R_i} - \frac{V}{R_i}, \quad (4.5)$$

intersectează hiperbola în două puncte, M și \tilde{M} . Având în vedere ecuația inițială (4.4) și expresia (4.5), obținem ecuația de gradul doi corespunzătoare

$$\frac{V_0 V}{R_i} - \frac{(V)^2}{R_i} = P. \quad (4.6)$$

Soluția acestei ecuații are două rădăcini. Așa se manifestă ambiguitatea regimului *CPC*.

Să examinăm influența valorii tensiunii sursei de tensiune V_0 asupra regimului de lucru al convertorului dat. Pentru diferite valori ale tensiunii sursei (V_0^1, V_0^2 ect.) obținem familia *CVI* ca niște linii paralele în figura 4.4. Ambiguitatea regimului corespunde punctelor reflectate $M_1 \rightarrow \tilde{M}_1, M_2 \rightarrow \tilde{M}_2$ ect.

În acest sens, punctele M^+, M^- sunt puncte fixe, când tensiunea $V = V_M = V_{0M} / 2 = \pm \sqrt{PR_i}$.

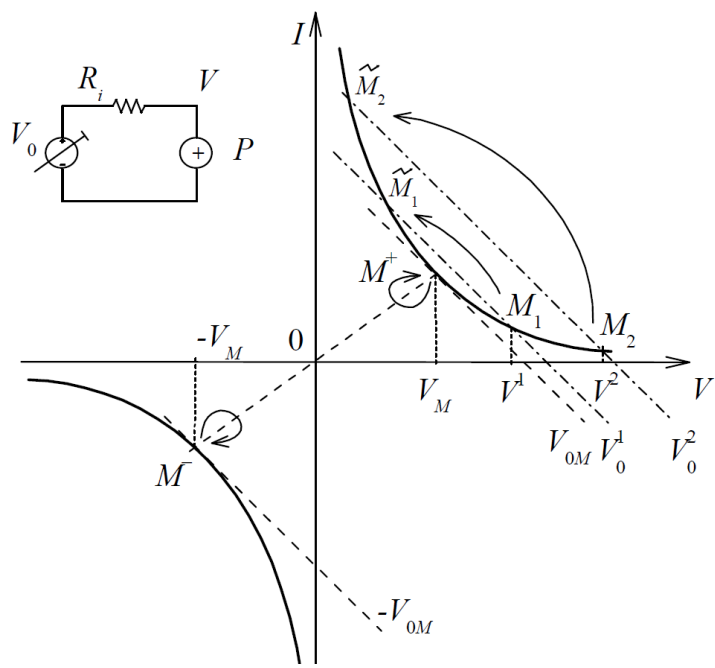


Fig.4.4. Ambiguitatea regimului CPC pentru diferite valori ale tensiunii sursei de tensiune.

Trebuie să argumentăm intervalul de lucru univoc. Pentru aceasta examinăm caracteristica dată în sistemul de coordonate proiective din figura 4.5 [91].

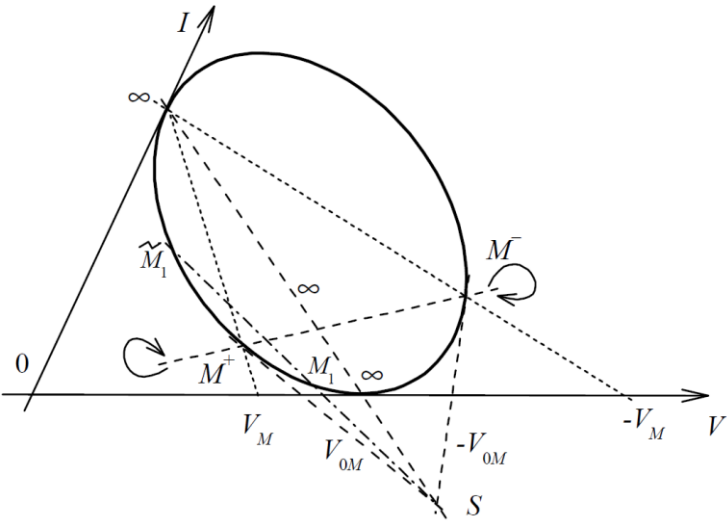


Fig. 4.5. Caracteristica CPC în sistemul de coordonate proiective.

Punctul de intersecție S a tuturor CVI a sursei de tensiune, ca linii paralele, se află pe o linie dreaptă la infinit. Mai mult decât atât, acest punct S este un pol, iar linia dreaptă M^+M^- va fi polară. De aceea, obținem o simetrie oarecare sau reflectarea părții de „jos” a curbei pe partea de „sus”. Atunci punctele M^+, M^- , vor fi puncte de bază, iar intervalul regimului univoc

include punctele $V_M, \infty, -V_M$. Determinăm intervalul corespunzător al regimului univoc pentru tensiunea $V_M, \infty, -V_M$.

Conform expresiei (4.6) obținem

$$V_0 = \frac{R_i P}{V} + V \quad (4.7)$$

și hiperbola din figura 4.6.

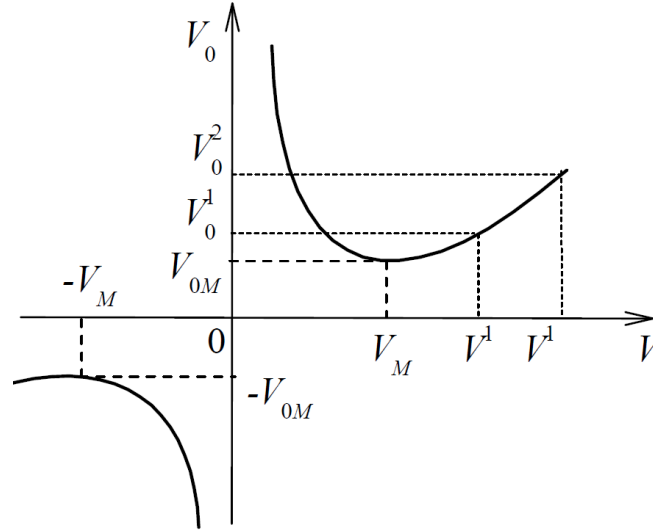


Fig. 4.6. Dependența $V_0(V)$ pentru sarcina de putere dată.

Reflectarea univocă obținută a hiperbolei pe axa V determină domeniul regimului univoc, care include punctele $V_{0M}, \infty, -V_{0M}$ pe axa V_0 .

Expresia raportului anarmonic pentru regimul inițial

$$m_V^1 = (V_M \quad V^1 \quad \infty \quad -V_M) = \frac{V^1 - V_M}{V^1 + V_M}, \quad m_0^1 = (V_{0M} \quad V_0^1 \quad \infty \quad -V_{0M}) = \frac{V_0^1 - V_{0M}}{V_0^1 + V_{0M}}.$$

De asemenea, se evidențiază proprietatea $m_0^1 = (m_V^1)^2$.

Prin urmare, putem introduce metrica hiperbolică $H^1 = Ln m_0^1 = 2Ln m_V^1$.

Invariantul obținut corespunde valorilor egale pentru așa variabile, cum ar fi V_0, V .

Prezentăm modificările parametrilor normalizați

$$V^{21} = \frac{\bar{V}^2 \bar{V}^1 - 1}{\bar{V}^2 - \bar{V}^1}, \quad V_0^{21} = \frac{\bar{V}_0^2 \bar{V}_0^1 - 1}{\bar{V}_0^2 - \bar{V}_0^1}, \quad n_1^{21} = \frac{n_1^2 n_1^1 - 1}{n_1^2 - n_1^1}.$$

De asemenea se îndeplinește conformitatea cu expresia (4.7)

$$2V_0^{21} = \frac{1}{V^{21}} + V^{21}.$$

Considerații similare pentru evidența pierderilor sursei de alimentare și parametrilor CPC .

Pentru claritate, expresia modificării coeficientului de transformare al regimurilor de lucru prezentate a CT sunt expuse în figura 4.7.

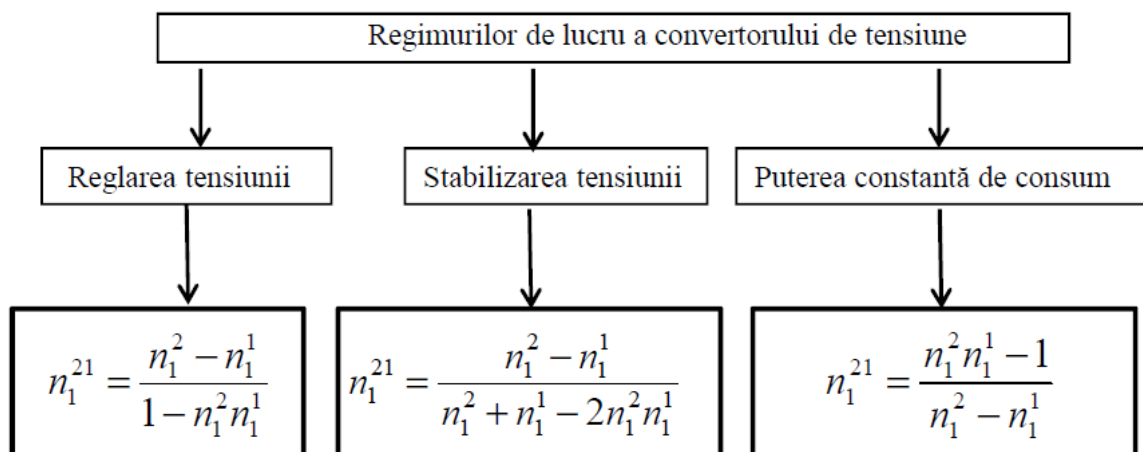


Fig. 4.7. Modificările coeficienților de transformare ai diferitor regimuri de lucru a convertoarelor de tensiune

Este evident, că tipul regimului de lucru definește cerințele pentru determinarea deja a parametrilor sistemului; va fi incorect de introdus dinainte modificări ale parametrilor sub formă de creșteri, rapoarte etc.

4.1.4. Convertor de impuls de ridicare

Să folosim expresia caracteristicii statice de reglare (1.13)

$$V_L = V_0 \frac{1-D}{(1-D)^2 + \frac{R_i}{R_L}} = V_0 \frac{\frac{1}{1-D}}{1 + \frac{(\sigma)^2}{(1-D)^2}}. \quad (4.8)$$

De asemenea, este cunoscută expresia [48] a caracteristicii de reglare

$$n = \frac{1}{1-D} \geq 1.$$

Apoi obținem expresia de bază cunoscută

$$V_L = V_0 \frac{n}{1 + (\sigma n)^2}, \quad n = \frac{V_L}{V}, \quad D = \frac{n-1}{n}.$$

Acest lucru permite de aplicat rezultatele la convertorul de ridicare din figura 4.8.

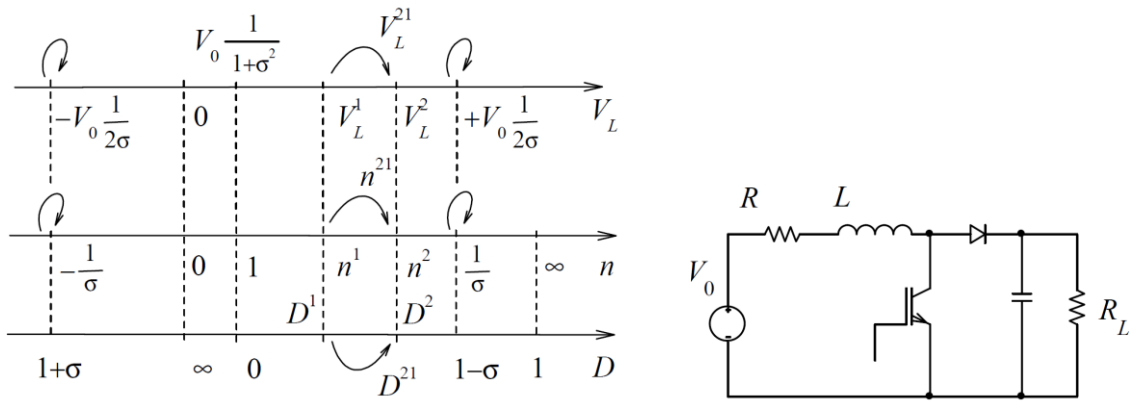


Fig.4.8. Coresponderea parametrilor caracteristici de reglare extinsă a convertorului de ridicare.

Să introducem caracteristica de reglare extinsă pentru valori negative ale tensiunii de sarcină, care formal corespunde intervalului $D > 1$. Selectăm punctele regimurilor caracteristice.

Pentru tensiunea maximă $V_{LM} = \pm \frac{V_0}{2\sigma}$, $n_M = \pm \frac{1}{\sigma}$, $D_M = 1 \mp \sigma$.

De asemenea, introducemos un punct singular

$$V_{L0} = \frac{V_0}{1+(\sigma)^2}, n = 1, D = 0.$$

Intervalul de lucru unic corespunde

$$V_L \in (-V_{LM}, V_{L0}, V_{LM}), D \in (1+\sigma, 0, 1-\sigma), n \in \left(-\frac{1}{\sigma}, 1, \frac{1}{\sigma}\right).$$

Exprimarea raportului anarmonic pentru regimul inițial

$$m_D = \frac{1 - \frac{1}{n}}{\sigma} = \frac{1 - \frac{1}{n}}{\sigma} \cdot \frac{1 + \sigma}{1 + \sigma}$$

$$m_D^1 = m_n^1 = \left((1+\sigma) \quad D^1 \quad 0 \quad (1-\sigma) \right) = \frac{(1+\sigma) - D^1}{(1-\sigma) - D^1} \cdot \frac{1-\sigma}{1+\sigma},$$

$$m_V^1 = \left(-\frac{V_0}{2\sigma} \quad V_L^1 \quad \frac{V_0}{1+\sigma^2} \quad \frac{V_0}{2\sigma} \right) = \frac{\frac{V_0}{2\sigma} + V_L^1}{\frac{V_0}{2\sigma} - V_L^1} \cdot \frac{(1-\sigma)^2}{(1+\sigma)^2}. \quad (4.9)$$

De asemenea, are loc invarianta $m_V = (m_D)^2 = (m_n)^2$.

Putem introduce metrica hiperbolică

$$H = Ln m_V = 2Ln m_D. \quad (4.10)$$

Sunt obținute valori egale pentru parametrii V_L, D .

Prezentăm modificarea parametrilor regimului

$$D^{21} = \frac{D^1 - D^2}{1 - \sigma^2 + D^1 D^2 - (D^1 + D^2)}, n^{21} = D^{21}, n^{21} = \frac{n^2 - n^1}{1 - (\sigma)^2 n^2 n^1}, \quad V_L^{21} = \frac{V_L^2 - V_L^1}{1 - 4(\sigma)^2 \frac{V_L^2 V_L^1}{(V_0)^2}}.$$

Folosind (4.9, 4.10), obținem distanța hiperbolică

$$H^1 = Ln \frac{\frac{V_0 + V_L^1}{2\sigma}}{\frac{V_0 - V_L^1}{2\sigma}} + 2Ln \frac{1 - \sigma}{1 + \sigma} = Ln \frac{\frac{V_0 + V_L^1}{2\sigma}}{\frac{V_0 - V_L^1}{2\sigma}} - 2Ln \frac{1 + \sigma}{1 - \sigma}.$$

În particular, distanța hiperbolică a unui punctului singular este egală cu zero.

În afară de cele trei puncte studiate ale regimurilor caracteristice, există un al patrulea punct, $V = 0, n = 0, D = \infty$. Vom considera acest punct ca scară. Atunci valoarea inversă a raportului anarmonic și distanța hiperbolică pentru acest punct

$$m_V^{SCL} = \left(\frac{1 + \sigma}{1 - \sigma} \right)^2 > 1, \quad H^{SCL} = Ln m_V^{SCL} = 2Ln \frac{1 + \sigma}{1 - \sigma} > 0.$$

Apoi, desigur introducem distanța hiperbolică normalizată pentru regimul curent (inițial)

$$r = \frac{H}{H^{SCL}} = Ln \frac{\frac{V_0 + V_L}{2\sigma}}{\frac{V_0 - V_L}{2\sigma}} \cdot \frac{1}{2Ln \frac{1 + \sigma}{1 - \sigma}} - 1.$$

Atunci tensiunea de sarcină și, în mod corespunzător, durata impulsurilor de control

$$V_L = \frac{V_0}{2\sigma} \frac{\left(\frac{1 + \sigma}{1 - \sigma} \right)^{2(r+1)} - 1}{\left(\frac{1 + \sigma}{1 - \sigma} \right)^{2(r+1)} + 1}, \quad D = 1 - \sigma \frac{\left(\frac{1 + \sigma}{1 - \sigma} \right)^{r+1} + 1}{\left(\frac{1 + \sigma}{1 - \sigma} \right)^{r+1} - 1}.$$

Expresiile obținute permit să prezentăm un fel de liniarizare reciprocă a dependenței $V_L(D)$ [76, 92].

4.2. Două convertoare de tensiune cu sursa de tensiune cu putere limită

Să analizăm din nou sistemul de alimentare cu energie din figura 2.17. Presupunem, că regimul de lucru corespunde condițiilor anterioare

$$\left. \begin{array}{l} V_1 = \text{const} = V_{1e}, R_1 = \text{var} \\ V_2 = \text{var}, R_2 = \text{const} \end{array} \right\} n_1, n_2 = \text{var}.$$

Obținem expresiile necesare pentru un anumit regim de funcționare și a modificărilor lui. Pentru aceasta analizăm figura 4.11, unde sunt desemnate punctele regimurilor inițiale și

ulterioare în familia arcurilor circulare L și K . Fiecare cerc din familia L corespunde valorilor posibile ale tensiunii primei sarcini. De exemplu, punctele C_{1n}, D_{1n} (regimul inițial și ulterior) corespund tensiunii predeterminate V_1^1 .

Raportul anarmonic de patru puncte față de punctele extreme A_{1n}, F_{1n}

$$m_{nL1}^{21} = (A_{1n} D_{1n} C_{1n} F_{1n}) = \frac{D_{1n} - A_{1n}}{D_{1n} - F_{1n}} \div \frac{C_{1n} - A_{1n}}{C_{1n} - F_{1n}}. \quad (4.13)$$

Punctele $A_{1n}, C_{1n}, D_{1n}, F_{1n}$ sunt definite de valorile normalizate complexe

$$\bar{n}^{A1} = \bar{n}_1^{A1} + j\bar{n}_2^{A1}, \bar{n}^{C1} = \bar{n}_1^{C1} + j\bar{n}_2^{C1}, \bar{n}^{D1} = \bar{n}_1^{D1} + j\bar{n}_2^{D1}, \bar{n}^{F1} = \bar{n}_1^{F1} + j\bar{n}_2^{F1}.$$

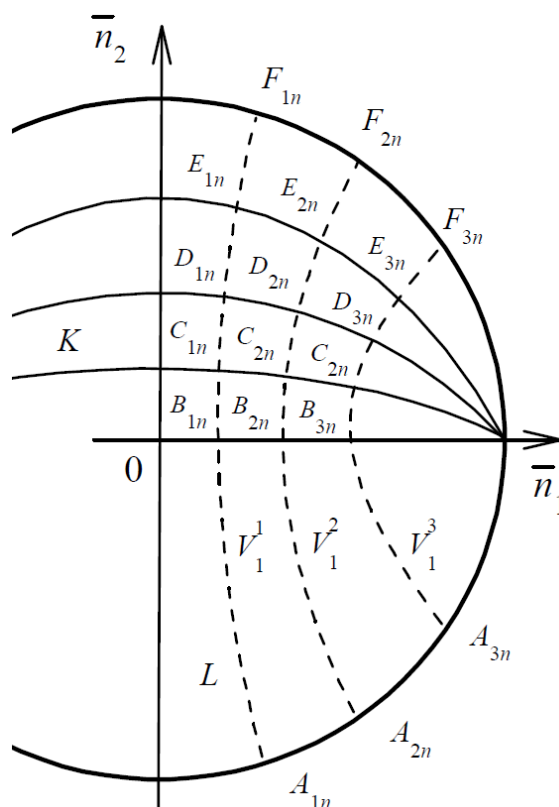


Fig.4.11. Familia caracteristicilor de reglare cu punctele desemnate ale regimului inițial și ulterior.

În particular, coordonatele punctelor A_1, F_1 sunt valori conjugate complexe

$$\bar{n}_1^{A1} = \bar{n}_1^{F1}, j\bar{n}_2^{A1} = -j\bar{n}_2^{F1}, \text{ где } \bar{n}_1^{F1} = \bar{V}_1^1, (\bar{n}_1^{F1})^2 + (\bar{n}_2^{F1})^2 = 1.$$

Atunci raportul anarmonic (4.13)

$$m_{nL1}^{21} = (\bar{n}^{A1} \bar{n}^{D1} \bar{n}^{C1} \bar{n}^{F1}) = \frac{\bar{n}^{D1} - \bar{n}^{A1}}{\bar{n}^{D1} - \bar{n}^{F1}} \div \frac{\bar{n}^{C1} - \bar{n}^{A1}}{\bar{n}^{C1} - \bar{n}^{F1}} \quad (4.14)$$

și este o valoare reală.

Tot acest raport anarmonic corespunde punctelor C_{2n}, D_{2n} etc.

Cum a fost menționat, modificarea regimului (coeficientul de transformare) se determină de conversiunea Möbius

$$\dot{n}^2 = \frac{a\dot{n}^1 + b}{c\dot{n}^1 + d}.$$

Atunci din expresia (4.14) obținem forma specifică corespunzătoare de conversiune

$$\bar{n}^{D1} = \frac{\left(\bar{n}_1^{-F1} + j\bar{n}_2^{-F1} \frac{1+m_{nL1}^{21}}{m_{nL1}^{21}-1} \right) \bar{n}^{C1} - 1}{\bar{n}^{C1} - \left(\bar{n}_1^{-F1} - j\bar{n}_2^{-F1} \frac{1+m_{nL1}^{21}}{m_{nL1}^{21}-1} \right)}.$$

Dacă punctele inițiale și următoare ale regimurilor se află pe axa \bar{n}_2 , această expresie se reduce la cazul unei sarcini

$$\bar{n}_2^{D1} = \frac{\bar{n}_2^{C1} + \frac{1+m_{nL1}^{21}}{m_{nL1}^{21}-1}}{1 + \bar{n}_2^{C1} \frac{1+m_{nL1}^{21}}{m_{nL1}^{21}-1}}.$$

În mod firesc, modelul propus poate fi generalizat la un număr mai mare de sarcini. De asemenea, se obțin expresii similare pentru alte regimuri.

4.3. Concluzii la Capitolul 4

1. Interpretarea geometrică a caracteristicilor convertoarelor permite de justificat definiția indicatorilor regimului, invariante față de tipul parametrilor reali și porțiunilor de circuit.
2. Tipul regimului impune cerințe privind definirea parametrilor sistemului.
3. Este propusă metodologia de determinare a domeniului de lucru univoc al caracteristicilor de lucru ambigue (cu două valori).
4. Sunt obținute ecuațiile de recalculare ai parametrilor de reglare în domeniul univoc a caracteristicilor, având proprietati de grup.

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

1. Au fost analizate posibilitățile metodelor cunoscute de determinare a parametrilor regimului de lucru a unui număr de circuite tipice ale curentului continuu și convertoarelor de tensiune. Se invocă necesitatea unui studiu mai aprofundat al proprietăților "cinematice" la circuitele cu parametri variabili ai elementelor.
2. Se propune de a utiliza metodele geometriei proiective, care reflectă "cinematică" circuitului cu parametrii elementelor (sarcinilor) variabili. Abordarea geometrică propusă în lucrare predetermină o ***nouă direcție științifică: caracteristicile (proprietățile) de grup ale regimurilor de lucru variabile, invariante referitor la tipul parametrilor regimului și la porțiunea de circuit.***
3. La baza metodei geometriei proiective stau corelațiile linear-fracționale (sub formă de transformări proiective) între curenți și rezistența electrică variabilă în segmentul arbitrar de circuit. Acest fapt determină invariantul - raportul anarmonic dintre patru probe sau valori ale parametrilor regimului de lucru [91]. Studiul "mecanismului" de interacțiune dintre elementele circuitului cu implicarea metodelor geometriei proiective permite de a determina caracteristicile suplimentare ale circuitului.
4. Au fost obținute formulele directe și inverse de recalculare a curenților multipoli pentru cazul variației sarcinilor, prezentate sub forma unui raport anarmonic de patru valori. În consecință, formulele de recalculare prezintă proprietăți de grup, ceea ce permite de a afla valorile rezultante ale curenților în cazul modificărilor intermediare ale rezistenței circuitului [79, 83].
5. A fost propus un generator generalizat echivalent, care a făcut posibilă simplificarea schemei de substituție și calcul al regimului de sarcină, când circuitul însăși își schimbă rezistența [81,82]. În schema acestui generator se reduce numărul de elemente variabile prin introducerea unor surse invariabile de energie suplimentare.
6. Pentru convertoarele de tensiune cu caracteristici de lucru neliniare și cu valori duble se argumentează expresiile de modificare a parametrilor regimurilor de lucru în regiunea activității univoce [87]. Forma expresiilor depinde de tipul regimului de lucru (reglarea sau stabilizarea tensiunii de sarcină).

Recomandări:

1. Rezultatele obținute fac posibilă implementarea soluțiilor tehnice de perspectivă propuse în cadrul studiului actual (protejat prin brevete):
 - transmitere a semnalelor la distanță a transductorilor mărimilor fizice prin liniile multiple de comunicare;
 - elaborarea sursei parametrice de curent a sarcinii la distanță;

- liniarizarea caracteristicilor de control ale convertorului de tensiune în impuls inversat și de ridicare;
- 2. O direcție de cercetare de perspectivă este dezvoltarea acestei metode pentru analiza circuitelor de curent alternativ, inclusiv cu parametri de distribuție.
- 3. Studiul aprofundat al proprietăților circuitelor electrice cu parametri variabili ai elementelor prezintă un interes deosebit pentru analiza proceselor de "streaming" de diferită natură fizică pe motivul analogiei bine-cunoscute (circuite mecanice, termice, hidro, rețele de transport, etc.) a acestora.

BIBLIOGRAFIE

1. Лукин А. В. Распределенные системы электропитания. În: Электронные компоненты, 1997, №. 7, с.28-32.
2. Горяшин Н. Н. Анализ эффективности использования резонансных режимов в импульсных высокочастотных преобразователях напряжения. În: Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика МФ Решетнева, 2009, №. 1-2, с.32-37.
3. Лазурченков А. Построение современных систем электропитания. În: Компоненты и технологии, 2000, №. 2.
4. Kakigano H., Miura Y., Ise T. Low-voltage bipolar-type DC microgrid for super high quality distribution. În: IEEE Transactions on Power Electronics, 2010, vol.25, nr.12, p. 3066-3075.
5. Lu X. et al. State-of-charge balance using adaptive droop control for distributed energy storage systems in DC microgrid applications. În: IEEE Transactions on Industrial electronics, 2014, vol. 61, nr.6, p. 2804-2815.
6. Guerrero J. et al. Hierarchical control of droop-controlled AC and DC microgrids. A general approach toward standardization. În: IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011, vol. 58, nr.1, p.158-172.
7. Dragičević T. et al. Supervisory control of an adaptive-droop regulated DC microgrid with battery management capability. În: IEEE Transactions on Power Electronics, 2014, vol.29, nr.2, p.695-706.
8. Худяков В. В. Возобновляемые источники энергии. În: Электричество, 2011, №10, с. 35-40.
9. Харченко В. В. Микросети на основе ВИЭ: концепция, принципы построения, перспективы использования. În: Энергия: Экономика, Техника, Экология, 2014, № 5, с.20-27.
10. Энергетическая стратегия республики Молдова до 2030 г. <http://lex.justice.md/ru/346670/> (vizitat 13.10.2016).
11. Национальный план действий в области возобновляемых источников энергии на 2013-2020 гг. <http://lex.justice.md/viewdoc.php?action=view&view=doc&id=351034&lang=2> (vizitat 13.10.2016).
12. Bostan I. et al. Resilient energy systems: renewables: wind, solar, hydro. Springer Science & Business Media, 2012, vol.19. 507p.
13. Tîrșu M., Uzun M. Analiza situației în domeniul celulelor fotovoltaice pe piața internațională și națională. În: Problemele Energeticii Regionale, 2011, nr.2(16), p.74-84.
14. Ambros T., Ursatii N. Unele aspecte privind istoria MСHE din Republica Moldova. În: Problemele Energeticii Regionale, 2015, nr.3(29), p.100-105.
15. Oñederra O. et al. Overview of DC technology - energy conversion. In: International Conference on Renewable Energy and Power Quality, ICREPQ 2013, Bilbao, Spain, 20- 22 March, 2013, p.1-6.
16. Ammous A., Morel H. LVDC: An efficient energy solution for on-grid photovoltaic applications. În: Smart Grid and Renewable Energy, 2014, nr.5, p. 63-76.
17. Янченко С. А., Кривошта Д. А. Оценка эффективности питания бытовой электроаппаратуры на постоянном токе. În: Потенциал Современной Науки, 2015, №1(9), с.34-40.
18. Sun K. et al. A distributed control strategy based on DC bus signaling for modular photovoltaic generation systems with battery energy storage. În: IEEE Transactions on Power Electronics, 2011, vol.26, nr.10, p.3032-3045.

19. Venmathi M., Ramaprabha R. A comprehensive survey on multi-port bidirectional DC–DC converters for renewable energy systems. *In: ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2013, vol.8, nr.5, p. 348-356.
20. Исембергенов Н.Т. Многоступенчатый инвертор для преобразования энергии солнечных батарей. *În: Электричество*, 2011, №7, с.32-37.
21. Moia J. et al. Comparison of three-phase PWM rectifiers to interface AC grids and bipolar DC active distribution networks. *In: 3rd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems PEDG 2012, IEEE, 25-28 June, 2012, p.221-228.*
22. Жданкин В. К. Низковольтные DC/DC-преобразователи типа POL для бортовой авиационной и ракетно-космической аппаратуры. *În: Силовая Электроника*, 2011, №2, с.37-42.
23. Алексеев В. Стабилизаторы напряжения с низким падением между входом и выходом с приемкой «5». *În: Силовая Электроника*, 2010, №3, с. 46-47.
24. Zazo H. et al. MPPT for photovoltaic modules via newton-like extremum seeking control. *În: Energies*, 2012, vol.5, nr.8, p. 2652-2666.
25. Yau H., Wu C. Comparison of extremum-seeking control techniques for maximum power point tracking in photovoltaic systems. *În: Energies*, 2011, vol.4, nr.12, p. 2180-2195.
26. Хегази Р., Виссарионов В. И. Моделирование системы слежения за максимумом мощности фотоэлектрической панели. *În: Электричество*, 2012, №2, с.50-53.
27. Singh G. Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: a review. *În: Energy*, 2013, vol.53, p.1-13.
28. Naik G., Avinash N. Grid connected fuel cell based on boost inverter system. *În: International Journal of Advanced Technology and Innovative Research*, 2015, vol.7, nr.7, p. 1062-1068.
29. El Shahat A. Photovoltaic power system simulation for micro–grid distribution generation. *In: 8th International Conference on Electrical Engineering ICEENG 2012, Cairo, Egypt, 29-31 May, 2012, p.29-31.*
30. Lago J., Moia J., Heldwein M. Evaluation of power converters to implement bipolar DC active distribution networks—DC-DC converters. *In: Energy Conversion Congress and Exposition ECCE 2011, IEEE, 17-22 Sept. 2011, p.985-990.*
31. Farag S., Kuperman A. Battery/supercapacitor emulator for chargers functionality testing. *În: International Journal of Electrical, Robotics, Electronics and Communications Engineering*, 2014, vol.8, nr.11, p.1545-1548.
32. Tahim A. et al. Control of interconnected power electronic converters in dc distribution systems. *In: XI Brazilian Power Electronics Conference, Natal, Brasília, 11-15 Sept. 2011, p. 269-274.*
33. Singh S., Fulwani D. Constant power loads: A solution using sliding mode control. *In: 40th Annual Conference of the IEEE. Industrial Electronics Society IECON 2014, IEEE. Oct. 29- Nov.1, 2014, p.1989-1995.*
34. Liu X., Ma S. Large signal stabilization method of constant power loads. *In: International Conference on Electrical, Automation and Mechanical Engineering, EAME 2015, Phuket, Thailand, July 26-27, 2015, p.79-82.*
35. Yehia D. et al. Deliverable-power dependence on distribution-line resistance and number of loads in low-voltage DC distribution system. *În: IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 2012, vol.7, nr.1, p.23-30.
36. She X. et al. On integration of solid-state transformer with zonal DC microgrid. *În: IEEE Transactions on Smart Grid*, 2012, vol.3, nr. 2, p.975-985.
37. Mahmoodi M. et al. A suitable power transfer control system for interconnection converter of DC microgrids. *In: International Conference on Renewable Energy and Power Quality ICREPQ'07, Sevilla, Spain, 28-30 Mach, 2007, p.223.1- 223.7*
38. Liu X., Wang P., Loh P. A hybrid AC/DC microgrid and its coordination control. *În: IEEE Transactions on Smart Grid*, 2011, vol. 2, nr. 2, p. 278-286.

39. Nookaraju G., Gangadharan S., Subbareddy B. Co-ordinate control for fuel cell and photovoltaic cell. În: International Journal of Science Engineering and Advance Technology, 2014, vol. 2, nr.11, p. 680-684.
40. Laldin O., Moshirvaziri M., Trescases O. Predictive algorithm for optimizing power flow in hybrid ultracapacitor/battery storage systems for light electric vehicles. În: IEEE Transactions on Power Electronics, 2013, vol. 28, nr.8, p. 3882-3895.
41. Azazi H. et al. DSP-based control of boost PFC AC-DC converters using predictive control. În: Yanbu Journal of Engineering and Science, 2011, vol.1, nr.2, p.23-33.
42. Irwin J., Nelms R. Basic engineering circuit analysis, 10th ed. John Wiley & Sons, Hoboken, 2011. 839p.
43. Демирчян К. С. и др. Теоретические основы электротехники: в 3 т. СПб.: Питер, 2006. т.1, 463 с.
44. Erhan F. Bazele teoretice ale electrotehnicii. Chişinău: UASM, 2009. 675p.
45. Berzan V. Electrofizica și energetica. Chişinău: Universitatea Academiei de Ştiinţe a Moldovei, IE AŞM, 2014. 262p.
46. Glisson T. Introduction to circuit analysis and design. Springer Science & Business Media, 2011. 768p.
47. Nelatury S. Didactic uses of maximum power transfer theorem and guided problem solving. În: International Journal of Electrical Engineering Education, 2014, vol.51, nr.3, p.244–260.
48. Иванов-Цыганов А. И. Электропреобразовательные устройства РЭС. Москва: Высшая школа, 1991. 270с.
49. Levron Y., Shmilovitz D. On the maximum efficiency of systems containing multiple sources. În: IEEE Transaction on Circuits and Systems – I: Regular Papers, 2010, vol.57, nr.8, p. 2232–2241.
50. Kasemsan S., Michael W. Optimum energy harvesting for series-connected power sources with uniform voltage distribution. În: Journal of Energy and Power Engineering, 2012, nr.6, p.1250-1262.
51. Артым А. Д. и др. Повышение эффективности мощных радиопередающих устройств. Москва: Радио и связь, 1989. 176с.
52. Климов В., Павленко В., Климов И. Энергетическая эффективность приводов погружных насосов в нефтедобывающей отрасли и их электромагнитная совместимость с сетью. În: Силовая электроника, 2011, №4, с.46- 49.
53. Kim S., Chou P. A Recursive solution for power-transmission loss in DC-powered networks. În: Energies, 2014, vol. 7, nr.11, p.7519-7534.
54. Zhao X., Li K., Zheng M. Analysis of transmission loss in droop control of a multi-terminal HVDC system. În: Journal of Power and Energy Engineering, 2014, vol.2, nr.4, p.564-572.
55. Leger A., Nwankpa C. Analog and hybrid computation approaches for static power flow. In: 40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, HICSS 2007, Big Island, Hawaii, 3- Jan. 2007, p. 119a.
56. Lanz G. et al. Power network transient stability electronics emulator using mixed-signal calibration. In: Proceedings of the 20th International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and Systems MIXDES 2013, Gdynia, Poland, 20-22 June, 2013, p. 369-373.
57. Берзан В. П. Расчет цепи трехфазного тока при произвольном числе подключенных нагрузок. În: Проблемы региональной энергетики, 2014, №2 (25), с. 30-37.
58. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Москва: Высшая школа, 1996. 640 с.
59. Alexander C., Sadiku M. Fundamentals of Electric Circuits, 5th ed. New York: McGraw–Hill, 2013. 996p.

60. Simpson-Porco J., Dörfler F., Bullo F. On Resistive Networks of Constant-Power Devices. *In: IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 2015, vol.62, nr.8, p. 811-815.
61. Chang Y. et al. A study of the electrical properties of complex resistor network based on NW model. *In: Journal of Physics: Conference Series*, 2015, vol. 604, nr.1, p.012003.
62. Bhattacharyya S. P., Keel L. H., Mohsenizadeh D. N. *Linear Systems: A measurement based approach*. Springer India, 2014. 89p.
63. Поливанов К. М. Теорема вариации для n - параметров электрической цепи. *In: Электричество*, 1947, №7, с.41-46.
64. Жуков Л. А., Стратан И. П. Установившиеся режимы сложных электрических сетей и систем. Москва: Энергия, 1979. 415с.
65. Мелешкин В. Н. Чувствительность линейных цепей к вариации структуры и параметров элементов. *In: Электричество*, 1987, №2, с.20-23.
66. Моин В. С. Стабилизированные транзисторные преобразователи. Москва: Энергоатомиздат, 1986. 376с.
67. Постников М. М. Аналитическая геометрия. Москва: Наука, 1986. 415с.
68. Da Silva E. R., Elbuluk M. E. Fundamentals of power electronics. In: Simões, M. G., Kramer, W. E., Chakraborty, S., eds. *Power Electronics for Renewable and Distributed Energy Systems: A Sourcebook of Topologies, Control and Integration*. Springer, 2013, pp. 7-59.
69. Ефимов Н. В. Высшая геометрия. 7-е изд. Москва: Физматлит, 2004. 584с.
70. Глаголев Н. А. Проективная геометрия. Москва: Высшая школа, 1963. 343с.
71. Mazin V. Method for raising the precision of measuring instruments and transducers. *In: Measurement Techniques*, 1980, vol.23, nr.6, p.479–480.
72. Abdullaev A., Mazin V. Conditions of minimum errors in the measurement of ac circuit parameters by the cross ratio method. *In: Measurement techniques*, 1993, vol.36, nr.2, p.206-209.
73. Bryant R., Tygar J., Huang L. Geometric characterization of series- parallel variable resistor networks. *In: Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, IEEE Transactions on, 1994, vol.41, nr.11, p.686–698.
74. Цыбульский О. А. Инварианты измерительного преобразования. *In: Законодательная и прикладная метрология*, 2011, № 1 (110), с. 22-26.
75. Цыбульский О. А. Применение метода сложного отношения в широкодиапазонных измерительных приборах. *In: Измерительная техника*, 2013, № 3, с.11-12.
76. Penin A. Analysis of electrical circuits with variable load regime parameters: projective geometry method. 2nd edition, Springer International Publishing Switzerland, 2016. 417p.
77. Веников В. А. Теория подобия и моделирования: применительно к задачам электроэнергетики. Москва: Высшая школа, 1976. 479с.
78. Каган В. Ф. Основания геометрии. Часть 2. Интерпретация геометрии Лобачевского и развитие её идей. Москва: Гостехиздат, 1956. 335с.
79. Penin A. Recalculation of the loads current of active multi-port networks on the basis of projective geometry. *In: Journal of Circuits, Systems and Computers*, 2013, vol. 22, nr.5, 1350031, 13 pp.
80. Penin A. Projective geometry method in the theory of electric circuits with variable parameters of elements. *In: International Journal of Electronics Communications and Electrical Engineering*, 2013, vol.3, nr.2, p.18-34.
81. Penin A. Generalized Thévenin/ Helmholtz and Norton/ Mayer theorems of electric circuits with variable resistances. *In: WSEAS transactions on circuits and systems*, 2014, vol.13, p.104-116.
82. Пенин А. А. Параметры и характеристики модифицированного эквивалентного генератора активного многополюсника. *In: Электричество*, 2012, № 5, с.32-39.

83. Пенин А. А. Перерасчет токов нагрузок активного многополюсника с изменяемыми параметрами на основе проективной геометрии. În: *Электричество*, 2012, № 10, с.66-73.
84. Penin A. The invariant properties of two-port circuits. În: *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2009, vol. 4, nr.12, p.740-746.
85. Penin A. Invariant properties of cascaded six-pole networks. În: *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2012, vol.6, nr.5, p. 305-312.
86. Penin A., Sidorenko A. Transmission of three resistance sensor signals over four wire line with losses. In: Bonca J.; Kruchinin S., eds. *Nanomaterials for security. NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology: Springer*, 2016, p.311-325.
87. Penin A. Non-Euclidean geometry and regulated characteristics of limited capacity power supply. În: *Journal of Electrical Engineering*, 2014, vol.2, nr.4, p. 175–186.
88. Penin A. Non-Euclidean geometrical transformation groups in the electric circuit theory with stabilization and regulation of load voltages. În: *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2014, nr.8, p. 182-194.
89. Сергеев Б. С. и др. Анализ работы электрической цепи с потребителем неизменной мощности. În: *Электричество*, 2002, № 6, с.17-22.
90. Singer S., Erickson R. Power–source element and its properties. În: *IEE Proceedings – Circuits, Devices and Systems*, 1994, vol.141, nr.3, p. 220–226.
91. Пенин А. А. Анализ изменения режимов потребителя неизменной мощности. În: *Электричество*, 2008, № 12, с.43-49.
92. Brevet de inventie. 4067 B2, MD, G05F 1/46. Procedeu de reglare cu convertizoarele de impuls de ridicare și inversare. Alexandru Penin (MD). Cererea depusă 26.08.2008, BOPI nr.8/2010.

DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII

Subsemnatul, declar pe răspundere personală că materialele prezentate în teza de doctor habilitat sunt rezultatul propriilor cercetări și realizări științifice. Conștientizez că, în caz contrar, urmează să suport consecințele în conformitate cu legislația în vigoare

Penin Alexandru

Data: 5 ianuarie 2017

CURRICULUM VITAE



Nume: Alexandru A. Penin

Data nașterii: 13 octombrie, 1952

Locul nașterii: Vijnița, Ucraina

Cetățenie: Republica Moldova

Tel. mob. 06-910-74-21

E-mail: aapenin@mail.ru

Studii

1959-1969, școala medie, or. Ocnîța, Moldova

1969- 1974, Studii superioare, Facultatea de Radiotehnică, Institutul Politehnic din Odesa.

04/02/2011, Doctor în tehnică, 05.27.01- electronica corpului solid, microelectronică, nanoelectronică.

Activitatea Profesională

1974- 1980 , Inginer - radiotehnic, Sovietul colhozurilor, . Hîncești, Moldova

1980- 1991, Inginer gr.2; Constructor- principial al proiectului, Biroul Specializat de Construcție și Tehnologie în domeniul Electronicii Corpului Solid (BSCT) al AȘM

1991- 1994, Inginer- coordinator, Institutul de Energetică al AȘM

1994- 2006, Inginer- principial, ÎM "ELCON" srl, or. Chișinău

din 2006 până în prezent, cercetător științific superior, Institutul de Inginerie Electronica și Nanotehnologii "D. Ghițu" al AȘM

Domenii de Cercetare: Bazele teoretice ale electrotehnicii, electronică de putere.

PUBLICAȚIILE LA TEMATICA TEZEI

1. Monografii

1.1. monografii monoautor

1. Penin A. Analysis of electrical circuits with variable load regime parameters: projective geometry method. Springer International Publishing Switzerland, 2015. 343p.
2. Penin A. Analysis of electrical circuits with variable load regime parameters: projective geometry method. 2nd edition, Springer International Publishing Switzerland, 2016. 417p.

1.2. Capitole în monografii

3. Penin A., Sidorenko A. Transmission of measuring signals and power supply of remote sensors. In: Bonca J., Kruchinin S., eds. Nanotechnology in the Security Systems. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security: Springer, 2014, pp. 267-281.
4. Penin A., Sidorenko A. Transmission of three resistance sensor signals over four wire line with losses. In: Bonca J.; Kruchinin S., eds. Nanomaterials for security. NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology: Springer, 2016, p.311-325.

2. Articole în diferite reviste științifice

2.1. în reviste internaționale cotate ISI și SCOPUS

5. Penin A. Recalculation of the loads current of active multi-port networks on the basis of projective geometry. În: Journal of Circuits, Systems and Computers, 2013, vol. 22, nr.5, 1350031, 13 pp.
6. Penin A. Analysis of paralleling limited capacity voltage sources by projective geometry method. În: The Scientific World Journal, 2014, vol. 2014, article ID 359893, 5 pp.
7. Penin A. Non-Euclidean geometrical transformation groups in the electric circuit theory with stabilization and regulation of load voltages. În: International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing, 2014, nr.8, p. 182-194.
8. Penin A., Sidorenko A., Vaseashta A. On the analogy of non- Euclidean geometry of human body with electrical networks. În: International Journal of Electrical and Computer Engineering, 2014, vol.4, nr.3, p. 378-388.
9. Penin A. Invariant properties of cascaded six-pole networks. În: International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing, 2012, vol.6, nr.5, p. 305-312.

2.2. în reviste din străinătate recunoscute

10. Penin A. Non-Euclidean geometry and regulated characteristics of limited capacity power supply. În: Journal of Electrical Engineering, 2014, vol.2, nr.4, p. 175–186.
11. Penin A. Generalized Thévenin/ Helmholtz and Norton/ Mayer theorems of electric circuits with variable resistances. În: WSEAS transactions on circuits and systems, 2014, vol.13, p.104-116.
12. Пенин А., Сидоренко А. Проективная геометрия в электронике, технике и живой природе. În: Россия и Германия, 2014, том 2, № 6, с. 44-49.
13. Penin A. Projective geometry method in the theory of electric circuits with variable parameters of elements. În: International Journal of Electronics Communications and Electrical Engineering, 2013, vol.3, nr.2, p.18-34.
14. Penin A. Comparison of regimes of active two-port networks with stabilization of load voltages. În: International Journal of Electronics Communications and Electrical Engineering, 2013, vol. 3, nr.6, p.1-18.
15. Пенин А. Параметры и характеристики модифицированного эквивалентного генератора активного многополюсника. În: Электричество, 2012, № 5, с.32-39.
16. Пенин А. Перерасчет токов нагрузок активного многополюсника с изменяемыми параметрами на основе проективной геометрии. În: Электричество, 2012, № 10, с.66-73.

17. Penin A. About the definition of parameters and regimes of active two-port networks with variable loads on the basis of projective geometry. *In: Wseas Transactions on Circuits and Systems*, 2011, vol.10, nr.5, p.157-172.
 18. Пенин А. Источники мощности и их свойства. *În: Электричество*, 2010, № 4, с.60-65.
 19. Penin A. The invariant properties of two-port circuits. *In: International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2009, vol. 4, nr.12, p.740-746.
 20. Пенин А. Анализ изменения режимов потребителя неизменной мощности. *În: Электричество*, 2008, № 12, с.43-49.
 21. Penin A. Determination of regimes of the equivalent generator based on projective geometry: the generalized equivalent generator. *In: World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2008, vol.22, p. 846-854.
 22. Пенин А. «Относительные режимы» параллельно соединенных четырехполюсников: геометрический подход. *În: Электричество*, 1997, № 2, с.49-57.
 23. Пенин А. Характеристики модифицированного эквивалентного генератора активного двухполюсника с изменяемым сопротивлением. *În: Электричество*, 1995, № 4, с. 55-59.
- 2.3. *în reviste din Registrul Național al revistelor de profil, Categoria B*
24. Пенин А. Определение нормированных энергетических показателей при изменении параметров резистивных четырехполюсников. *În: Проблемы региональной энергетики*, 2013, № 2(22), с.20-37.
 25. Penin A. Normalized representation of the equations of active multiport networks on the basis of projective geometry. *În: Moldavian Journal of the Physical Sciences*, 2011, vol.10, nr. (3-4), p.350-357.
 26. Penin A., Sidorenko A. Investigation of the effect of an equalizing resistor on the paralleling voltage sources by projective geometry. *În: Moldavian Journal of the Physical Sciences*, 2012, vol.11, nr.(1-2), p.124-131.
 27. Penin A., Sidorenko A. Balanced multi-port electric network and its projective coordinates. *În: Moldavian Journal of the Physical Sciences*, 2015, vol.14, nr.(1-2), p.102-112.

3. Articole în culegeri științifice

3.1. culegeri de lucrări ale conferințelor internaționale

28. Penin A. Projective Geometry Invariants of Human Body and Multi-port Electrical Circuits. *In: 3rd Intern. Conf. on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, ICNBME-2015, Chisinau, Republic of Moldova, 23-26 Sept. 2015. IFBME Proceedings. 2015, 55, 336-339.*
29. Penin A., Sidorenko A. Transmission of Resistance Sensor Signals over Multi-wire Line with Losses. *In: 3rd Intern. Conf. on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, ICNBME-2015, Chisinau, Republic of Moldova, 23-26 Sept. 2015. IFBME Proceedings. 2015, 55, 332-335.*
30. Penin A., Sidorenko A. Stabilization of load voltages in power supply systems with limited capacity voltage sources. *In: Telecommunications, Electronics and Informatics: proc. of the 5th Intern. Conf., 20-23 May 2015. Ch.: UTM, 2015, 1, p. 79-83.*
31. Penin A., Sidorenko A. Voltage regulators with limited capacity power supply and Non-Euclidean geometry. *In: Proceeding of the 8th International Conference on Microelectronics and Computer Science: The 50th anniversary of Technical University of Moldova, Oct. 22 -25, 2014 Chisinau, Rep. of Moldova. Chisinau: Tehnica, p. 54-57.*
32. Penin A. Generalization of the Thevenin and Norton equivalent generator. *In: Proceedings of the 4th International Conference on Telecommunications, Electronics and*

Informatics ICTEI 2012, Chisinau, Moldova, May 17-20, 2012. Chisinau: Universitatea Tehnica a Moldovei, 2012, vol. I, p.127-132.

33. Penin A., Sidorenko A. Characteristic of paralleling limited capacity voltage sources. In: Proceedings of the 4th International Conference on Telecommunications, Electronics and Informatics ICTEI 2012, Chisinau, Moldova, May 17-20, 2012. Chisinau: Universitatea Tehnica a Moldovei, 2012, vol. I, p.211-215.
34. Penin A. Analysis of active two-port circuits with variable loads on the basis of projective geometry. In: Proceedings of the 7th International Conference on Microelectronics and Computer Science, Chisinau, Moldova, September 22-24, 2011, Chisinau: Tehnica - UTM, 2011, p. 113-116.

4. Materiale/ teze la forurile științifice

4.1. conferințe cu participare internațională

35. Пенин А., Сидоренко А. Проблема перерасчета токов цепи. In: The 5th Conference of the Physicists of Moldova (CFM-2014), Oct. 22-25, 2014. Chisinau, p. 88.
36. Penin A. Projective geometry in the problems of analysis of electric circuits with variable parameters of elements. In: The 20th conference on applied and industrial mathematics. Chisinau, 22- 25August, 2012, Communications, p. 177.
37. Пенин А., Сидоренко А. Передача двух сигналов по трех проводной линии. In: Conferința Fizicienilor din Moldova (CFM-2012), Oct. 24-26, 2012. Belti, p. 124-125.

5. Brevete de invenții, patente, certificate de înregistrare, materiale la saloanele de invenții

1. Brevet de invenție. 1011 Y, MD, H04B 3/32, G01R 27/16. Metodă de transmitere a trei semnale prin linia de comunicație cu patru fire. Alexandru Penin (MD), Anatol Sidorenko (MD) , Sofia Donu (MD). Cererea depusă 18.06.2015, BOPI nr.2/2016.
2. Brevet de invenție. 987 Y, MD, H02J 1/00. Sistem distribuit de alimentare cu energie electrică. Anton Iacuin (MD), Alexandru Penin (MD), Anatol Sidorenko (MD). Cererea depusă 02.04.2015, BOPI nr. 12/2015.
3. Brevet de invenție. 801 Y, MD, G05F 3/08. Metodă de stabilizare a curentului de sarcină reglabil. Alexandru Penin (MD), Anatol Sidorenko (MD). Cererea depusă 15.10.2013, BOPI nr. 7/2014.
4. Brevet de invenție. 692 Y, MD, H04B 3/32, H04B 3/54. Procedeu de transmitere a semnalelor de măsurare în linia de curent continuu cu trei fire. Alexandru Penin (MD), Anatol Sidorenko (MD). Cererea depusă 13.02.2013, BOPI nr.10/2013.
5. Brevet de invenție. 543 Y, MD, H04B 3/32, H04B 3/54. Procedeu de transmitere a două semnale prin linia de curent continuu cu trei conductoare. Alexandru Penin (MD), Anatol Sidorenko (MD). Cererea depusă 13.01.2012, BOPI nr. 08/2012.
6. Brevet de invenție. 536 Y, MD, H04B 3/54. Procedeu de transmitere a semnalelor prin linia de curent continuu. Alexandru Penin (MD), Anatol Sidorenko (MD). Cererea depusă 12.12.2011, BOPI nr. 7/2012.
7. Brevet de invenție. 534 Y, MD, G01R 27/16. Procedeu de măsurare la distanță a conductanței active a rezistorului. Alexandru Penin (MD), Anatol Sidorenko (MD). Cererea depusă 12.12.2011, BOPI nr 7/2012.
8. Brevet de invenție. 4067 B2, MD, G05F 1/46. Procedeu de reglare cu convertizoarele de impuls de ridicare și inversare. Alexandru Penin (MD). Cererea depusă 26.08.2008, BOPI nr.8/2010.

PENIN ALEXANDRU

**GEOMETRIA PROIECTIVĂ ÎN TEORIA
CIRCUITELOR ELECTRICE CU SARCINI
VARIABLE ȘI NELINIARE**

233.02 Echipamente și sisteme electronice

Referatul științific al tezei de doctor
abilitat în tehnică în baza lucrărilor publicate

Aprobat spre tipar: 05.01. 2017
Hârtie standart. Tipar laser
Coli de autor: 3,0

Formatul hârtiei: A4
Tiraj: 50 ex.
Comanda nr.2:

Tipărit în Institutului de Inginerie Electronica și Nanotehnologii "D. Ghițu" al AȘM
str. Academiei 3/3, MD- 2028, Chișinău, Republica Moldova