

Զ.Մ. ԽԱԶԻԿՅԱՆ

**ՀԻՊՐՈԳԵՆԵՐԱՏՈՐ-ՏՐԱՆՍՖՈՐՄԱՏՈՐ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՓՈԽԱՐԻՆՄԱՆ
ՍԽԵՄԱՅԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ ՈՒ ՄՇԱԿՈՒՄԸ**

Ուսումնասիրվել են բացահայտ բևեռներով սինքրոն գեներատորի՝ գրականության մեջ առկա փոխարինման սխեմաները: Արդյունքում՝ ընտրվել է փոխարինման սխեմա, որը մշակվել, լրացվել է: Վերջինս հնարավորություն է տալիս հետազոտել հիպոթեզներատորի աշխատանքային ռեժիմները: Ընտրված փոխարինման սխեմայի հիման վրա մշակվել է հիպոթեզներատոր-տանսֆորմատոր համակարգի փոխարինման սխեման, և կառուցվել է վեկտորական դիագրամը:

Առանցքային բառեր. հիպոթեզներատոր, տրանսֆորմատոր, փոխարինման սխեմա, վեկտորական դիագրամ, բացահայտ բևեռներով սինքրոն մեքենա:

Հայաստանում փոքր հզորությամբ ՀԷԿ-երի կառուցման գործընթացը համարվում է վերականգնվող էներգետիկայի ոլորտի զարգացման առաջատար ուղղություններից մեկը, քանի որ նպաստում է էներգետիկ անվտանգության հաստատմանը: Փոքր ՀԷԿ-եր են մինչև 10 ՄՎտ ընդհանուր հզորությամբ բոլոր տիպի հիպոթեզներատորակայանները: Հանրապետությունում նախագծվող, կառուցվող և շահագործվող ՓՀԷԿ-երի մեծ մասը բնական ջրահոսքերի վրա տեղակայված դերիվացիոն տիպի կայաններ են:

2017 թ. հունվարի 1-ի դրությամբ էլեկտրաէներգիա են արտադրել 178 փոքր ՀԷԿ-երը, որոնց գումարային դրվածքային հզորությունը կազմել է մոտ 328 ՄՎտ, իսկ էլեկտրական էներգիայի փաստացի միջին տարեկան արտադրանքը՝ 880 մլն.կՎտժ: 2016թ. փոքր ՀԷԿ-երով էլեկտրաէներգիայի արտադրությունը կազմել է շուրջ 957 մլն.կՎտժ, որը Հայաստանում արտադրված ամբողջ էլեկտրաէներգիայի (7315 մլն.կՎտժ) մոտ 13% է:

Ըստ տրամադրված լիցենզիաների՝ 2017 թ. հունվարի 1-ի դրությամբ կառուցման փուլում են գտնվում ևս 39 ՓՀԷԿ-եր՝ նախագծային մոտ 74 ՄՎտ գումարային հզորությամբ և 260 մլն.կՎտժ էլեկտրաէներգիայի տարեկան արտադրությամբ [1]:

Հայաստանում միկրո և մինի ՀԷԿ-երի կառուցումը հնարավորություն կտա լրացնել էժան էլեկտրաէներգիայի պակասը և նաև էլեկտրաէներգիա մատակարարել խոշոր էլեկտրակայաններից հեռու գտնվող բնակավայրերին:

ՀՀ էներգետիկական համակարգում ՀԷԿ-երի արտադրած էլեկտրաէներգիան սպառողին մատակարարելու նպատակով ՀԷԿ-երը հիմնականում ցանցին են միացվում տրանսֆորմատորի միջոցով:

Հիդրոգեներատոր-տրանսֆորմատոր համակարգն ավելի խոր ուսումնասիրելու համար անհրաժեշտ է կառուցել նրա փոխարինման սխեման: Փոխարինման սխեման կոմպլեքս արտահայտության և վեկտորական դիագրամի համադրությամբ ավելի տեսանելի է դարձնում, որոշ դեպքերում նաև հեշտացնում աշխատանքային ռեժիմների հետազոտումը:

Դիտարկենք բացահայտ բևեռներով սինքրոն գեներատորի և տրանսֆորմատորի փոխարինման սխեմաներն առանձին-առանձին:

Հայտնի է, որ սինքրոն մեքենաները, բացի խարսխի և գրգռման փաթույթներից, սովորաբար համալրվում են դեմպֆերային փաթույթով: Գեներատորներում այն ծառայում է որպես հանգստացնող փաթույթ, իսկ շարժիչներում՝ նաև թողարկման փաթույթ: Որպեսզի փոխարինման սխեմայում դիտարկվեն սինքրոն մեքենայի փաթույթները, ընդունված է այն դիտարկել d և q առանցքներով և կայունացված ռեժիմներում սինքրոն մեքենաների վեկտորական դիագրամներում ու փոխարինման սխեմաներում անտեսել դեմպֆերային փաթույթի ազդեցությունը:

Որոշ հեղինակների կողմից կառուցվում են համապատասխան վեկտորական դիագրամի փոխարինման սխեմաները՝ ըստ d և q առանցքների, որին համապատասխան սինքրոն մեքենայի լարումը հավասար է՝

$$U_1 = \sqrt{U_d^2 + U_q^2} :$$

Անհրաժեշտ է նշել, որ առանձին d առանցքով և q առանցքով պատկերված սխեմաներով սինքրոն գեներատորների աշխատանքային ռեժիմների հետազոտումը բավականին բարդանում է: Այդ պատճառով փոխարինման սխեմայի այս տարբերակը ընդունված է կիրառել շարժիչների աշխատանքային ռեժիմների հետազոտման նպատակով [2]:

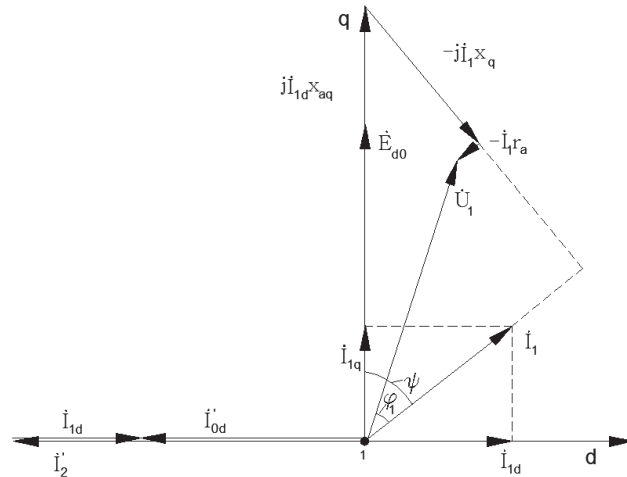
Դիտարկենք բացահայտ բևեռներով սինքրոն գեներատորի փոխարինման սխեման՝ համապատասխան [3]-ի:

Բացահայտ բևեռներով սինքրոն գեներատորի փոխարինման սխեմաները կարելի է կառուցել՝ համաձայն հետևյալ արտահայտության.

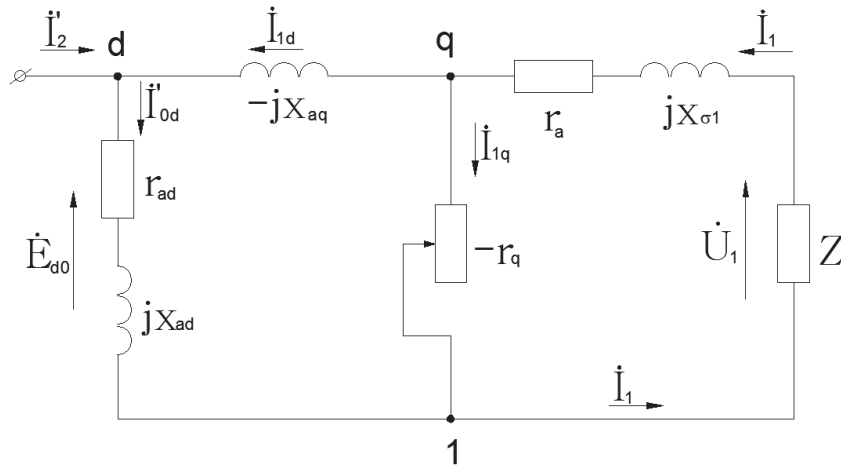
$$\dot{U}_1 = -\dot{I}'_{0d} X_{ad} - \dot{I}_{1d} X_{ad} - \dot{I}_1 Z_{\sigma 1},$$

որտեղ \dot{U}_1 -ը ստատորի փաթույթի լարումն է, $\dot{I}'_{0d} = \dot{I}'_2 + \dot{I}_{1d}$, \dot{I}'_{0d} -ն՝ գումարային հոսանքը (ստատորի հոսանքն ըստ d առանցքի և ռոտորի հոսանքը, որը բերված է ստատորի հոսանքին), X_{ad} -ն՝ խարսխի փաթույթի հակազդեցության ինդուկտիվ դիմադրությունը d առանցքով, \dot{I}_{1d} -ն՝ ստատորի հոսանքը d առանցքով, \dot{I}_1 -ը ստատորի հոսանքը, $Z_{\sigma 1} = r_a + jX_{\sigma 1}$, որտեղ r_a -ստատորի փաթույթի ակտիվ դիմադրությունն է, $X_{\sigma 1}$ -ը՝ ստատորի փաթույթի ցրման դիմադրությունը: $X_q = X_{aq} + X_{\sigma 1}$, որտեղ X_{aq} -ն խարսխի փաթույթի հակազդեցության ինդուկտիվ դիմադրությունն է q առանցքով:

Ստորև բերված է բացահայտ բևեռներով սինքրոն գեներատորի վեկտորական դիագրամը, որը կարելի է հիմք վերցնել փոխարինման սխեման կառուցելու համար: Այս վեկտորական դիագրամը կառուցված է այն դեպքի համար, երբ մագնիսական բնութագիրն ունի գծային տեսք:



Նկ. 1. Բացահայտ բևեռներով սինքրոն գեներատորի վեկտորական դիագրամը



Նկ. 2. Բացահայտ բևեռներով սինքրոն գեներատորի փոխարինման սխեման

$$\dot{E}_{d0} = -\dot{I}'_{0d}(r_{ad} + jx_{ad}) \approx -j\dot{I}'_{0d}x_{ad} :$$

\dot{I}'_2 -ը ոտտորի հոսանքն է՝ բերված ստատորի հոսանքին, որն իր մեծությամբ համապատասխանում է գրգռման փաթույթից տրված հոսանքին: Գրգռման փաթույթի հոսանքը բերվում է ստատորի փաթույթին հետևյալ կերպ՝

$$I'_2 = I_2 / k_{I_2} ,$$

որտեղ $kk_{I_2} = \frac{2m}{\pi} \frac{wk_{o6}}{w_f} k_d$, m -ը ֆազերի քանակն է, w -ն՝ ստատորի փաթույթի գալարների թիվը, k_{o6} -ն՝ փաթույթի գործակիցը, w_f -ը՝ գրգռման ամբողջ փաթույթի գալարների թիվը, k_d -ն՝ խարսխի հակազդեցության գործակիցը d առանցքով:

$$k_d = k_{ad} / k_f$$

որտեղ k_{ad} -ն խարսխի ընդլայնական հակազդեցության դաշտի տեսքի գործակիցն է, k_f -ը՝ գրգռման դաշտի կորի տեսքի գործակիցը:

Սխեմայում d և q կետերի միջև միացված է ռեակտիվ դիմադրություն՝ $-jX_{aq}$: \dot{I}'_{1d} հոսանքը, անցնելով փոխարինման սխեմայի այս ճյուղով, առաջացնում է նրանում լարման անկում, որը գումարվելով էլշուին՝ 1 և q կետերի միջև առաջացնում է լարում՝

$$\dot{E}_{d0} + j\dot{I}'_{1d}x_{aq} :$$

\dot{E}_{d0} -ն գրգռման փաթույթից մակաձված էլշուն է ստատորի փաթույթում պարապ ընթացքի ռեժիմում: 1 և q կետերի միջև միացված է բացասական փոփոխական դիմադրություն՝ $-r_q$, որը կախված է գեներատորի բեռնվածքից: Բացասական r_q -ն համապատասխանում է այն հզորությանը, որն արտադրում է գեներատորը, որի հոսանքը՝ $\dot{I}_{1q} = \dot{I}_1 - \dot{I}_{1d}$: r_q դիմադրությունն ունի բացասական նշան, որը ցույց է տալիս, որ նրանում չի մարվում, այլ գեներացվում է ակտիվ հզորություն՝ $-\dot{I}_{1q}r_q$:

Ինչպես երևում է սխեմայից, 1 և q կետերի միջև էլշուն՝

$$I_{1q}r_q = I_1\sqrt{(r+r_a)^2 + (X+X_{\sigma 1})^2},$$

որտեղ $r + jX = Z$ -բեռի դիմադրությունն է:

Մյուս կողմից՝

$$I_{1q} = I_1 \cos \psi = I_1 \frac{r+r_a}{\sqrt{(r+r_a)^2 + (X+X_{\sigma 1})^2}},$$

որտեղից հետևում է, որ՝

$$r_q = r+r_a + \frac{(X+X_{\sigma 1})^2}{r+r_a}:$$

Այս արտահայտություններից գտնում ենք, որ՝

$$I_{1d} = I_1 \sin \psi = I_1 \frac{X+X_{\sigma 1}}{\sqrt{(r+r_a)^2 + (X+X_{\sigma 1})^2}},$$

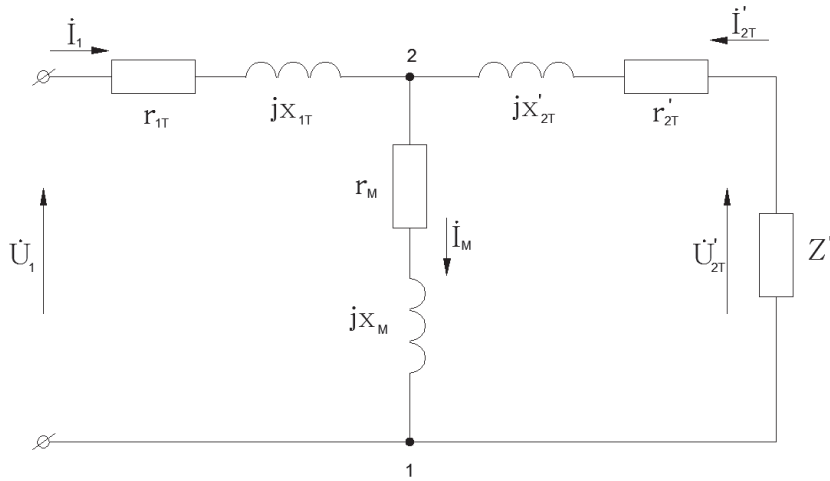
կամ՝

$$I_{1d} = -jI_{1q} \frac{X+X_{\sigma 1}}{r+r_a}:$$

Ուսումնասիրելով փոխարինման սխեմաները, նախընտրությունը տրվեց նկ. 2-ում պատկերված սխեմային: Այն հնարավորություն է տալիս ուսումնասիրել գեներատորը մեկ սխեմայով՝ ներառելով բոլոր անհրաժեշտ տվյալները:

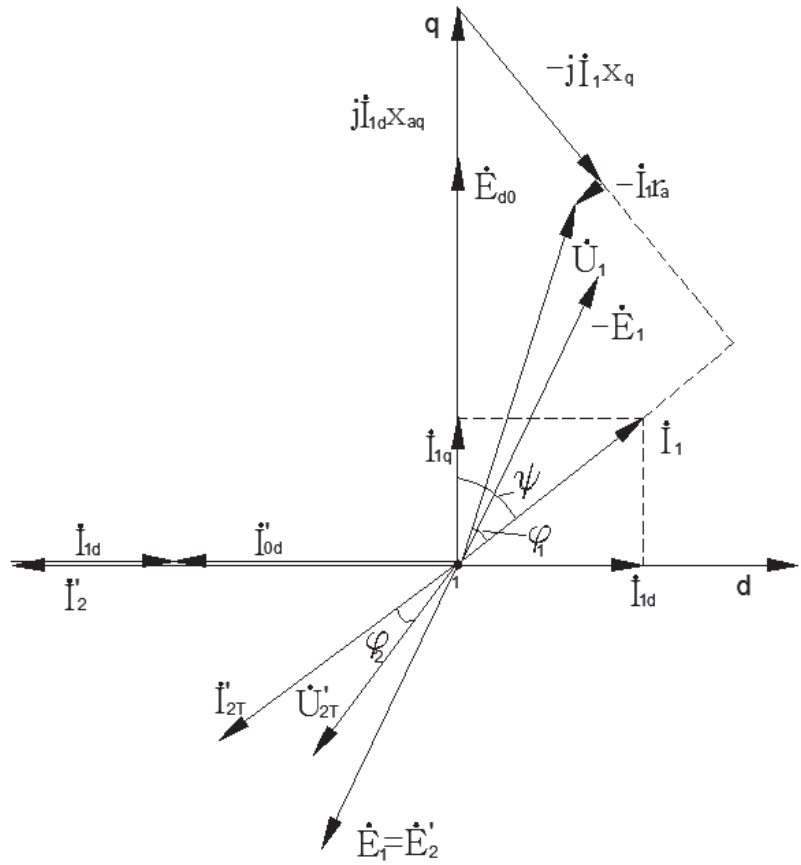
Այժմ դիտարկենք բերված տրանսֆորմատրի փոխարինման սխեման [4]: Այն կառուցվում է հետևյալ բանաձևերի համակարգի հիման վրա՝

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 + \dot{E}_1 &= \dot{I}_1(r_{1T} + jX_{1T}), \\ \dot{U}'_{2T} &= \dot{E}'_2 - \dot{I}'_{2T}(r'_2 - jX'_{2T}) = \dot{I}'_{2T}Z', \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_M - \dot{I}'_{2T}: \end{aligned}$$

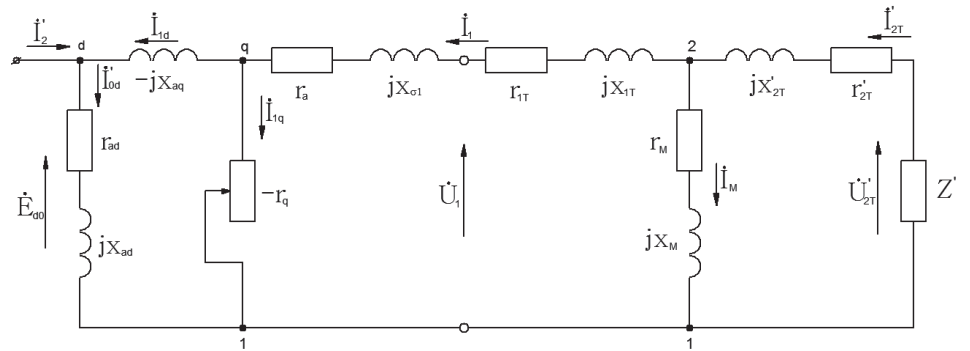


Նկ. 3. Բերված տրանսֆորմատորի փոխարինման սխեման

Հիդրոգեներատոր-տրանսֆորմատոր համակարգի վեկտորական դիագրամն ու փոխարինման սխեման կարելի է ներկայացնել հետևյալ կերպ (նկ.4,5):



Նկ. 4. Հիդրոգեներատոր-տրանսֆորմատոր համակարգի վեկտորական դիագրամը



Նկ. 5. Հիդրոգեներատոր-տրանսֆորմատոր համակարգի փոխարինման սխեման

Գրենք Կիրխոֆի երկրորդ օրենքը կոնտուրների համար՝

$$\begin{aligned} \dot{E}_{d0} &= \dot{I}'_{od}(r_{ad+jXad}) - j\dot{I}'_{1d}X_{aq} + \dot{I}'_{1q}r_q, \\ \dot{I}'_1((r_a + r_{1T}) + (jX_\sigma + jX_{1T})) &= \dot{I}'_{1q}r_q + \dot{I}'_M(r_M + jX_M), \\ \dot{U}'_{2T} - \dot{I}'_{2T}Z' &= \dot{I}'_{2T}(r'_{2T} + jX'_{2T}) + \dot{I}'_M(r_M + jX_M): \end{aligned}$$

Ներկայացնենք Կիրխոֆի առաջին օրենքը հանգույցների համար՝

$$\begin{aligned} \dot{I}'_{0d} &= \dot{I}'_2 + \dot{I}'_{1d} \\ \dot{I}'_1 &= \dot{I}'_{1d} + \dot{I}'_{1q}, \\ \dot{I}'_{2T} &= \dot{I}'_1 + \dot{I}'_M: \end{aligned}$$

Վերը նշված արտահայտահայտությունները թույլ են տալիս ուսումնասիրել հիդրոգեներատոր-տրանսֆորմատոր համակարգի աշխատանքային ռեժիմները: Կարգավորելով գրգռման հոսանքը և r_q -ի վրա անջատված հզորությունը, կարող ենք ապահովել բոլոր անհրաժեշտ ռեժիմները:

Եզրակացություն

1. Համաձայն սինքրոն մեքենաների վերաբերյալ գրականության, հատկապես մանավանդ բացահայտ բևեռներով սինքրոն գեներատորի դեպքում, բացակայում է հստակ կիրառվող փոխարինման սխեման:

2. Հետազոտման արդյունքում հնարավոր եղավ հիդրոգեներատոր-տրանսֆորմատոր համակարգն ուսումնասիրելու համար օգտագործել նկ. 5-ում պատկերված փոխարինման սխեման:

3. Արդյունքում՝ ստացված վեկտորական դիագրամի և փոխարինման սխեմայի հիման վրա ստացված արտահայտությունները հնարավորություն են տալիս ուսումնասիրելու հիդրոգեներատոր-տրանսֆորմատոր համակարգի աշխատանքային ռեժիմները:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. <http://minenergy.am/page/448>
2. **Сивокобыленко В.Ф.** Математическое моделирование в электротехнике и энергетике. – Донецк: РВА ДонНТУ, 2005. -306 с.
3. **Петров Г.Н.** Электрические машины. Часть вторая: Асинхронные и синхронные машины. -М-Л.: Госэнергоиздат, 1963. -416 с.
4. **Вольдек А.И.** Электрические машины. 3-е издание. –Л.: Энергия, 1978.- 832 с.

З.М. ХАЧИКЯН

**АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ СИСТЕМЫ
ГИДРОГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР**

Изучены схемы замещения синхронных машин с явновыраженными полюсами, в результате чего выбрана та схема, которая позволяет исследовать режимы работы гидрогенератора. На основе выбранной схемы разработана схема замещения системы гидрогенератор-трансформатор и построена векторная диаграмма.

Ключевые слова: гидрогенератор, трансформатор, схема замещения, векторная диаграмма, явнополюсная синхронная машина.

Z.M. KHACHIKYAN

**ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF THE EQUIVALENT CIRCUIT OF
THE SYSTEM HYDROGENERATOR-TRANSFORMER**

The equivalent circuits of salient-pole synchronous machines are studied. As a result, a scheme, allowing to investigate the operation modes of the hydrogenerator is selected. Based on the chosen equivalent circuit, the equivalent circuit of the system hydrogenerator-transformer is developed, and the vector diagram is designed.

Keywords: hydrogenerator, transformer, equivalent circuit, vector diagram, salient-pole synchronous machine.

УДК 621.313

М.А. САГАТЕЛЯН, Г.Х. КАЗАРЯН

**ВОПРОСЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ
ГОРНЫХ РЕК**

Рассмотрены вопросы преобразования энергии водных ресурсов горных рек Республики Армения. Проведен анализ водных ресурсов Армении. Рассмотрены вопросы применения гидротурбин различных типов, что позволяет увеличить энергетический потенциал малых гидроэлектростанций и технико-экономические показатели всего комплекса.

Ключевые слова: малые гидроэлектростанции, технико-экономические показатели, гидротурбина, напор воды, расход воды.

Малая гидроэнергетика является одним из быстро развивающихся направлений нетрадиционной энергетики во всем мире, в том числе и в Армении, что обусловлено числом малых рек.