

რეზიუმე

განხილულია უმარტივესი ელექტროგადაცემის სისტემა, მოყვანილია კონკრეტული მაგალითები სადგურების დატვირთვების გადანაწილებისა და მათ მიერ გამოშვებული ელექტროენერგიის ტარიფის ურთიერთდაპირისმართებაზე, კერძოდ:

დაბალი ტარიფის მქონე სადგურის ოპტიმალური დატვირთულობა მით მალაღია:

რაც დაბალია მის მიერ გამოშვებული ელექტროენერგიის ტარიფი და მაღალია ალტერნატიული წყაროს (სისტემაში მომუშავე სხვა სადგურის) მიერ გამოშვებული ელექტროენერგიის ტარიფი;

რაც მაღალია ელექტროგადაცემის ნომინალური ძაბვა და დაბალია ელექტროგადაცემის წინაღობა ანუ ეს სადგური ელექტრულად რაც უფრო ახლოსაა მომხმარებლის კვანძთან.

ელექტროსადგურებისა და მომხმარებელთა ნებისმიერი ურთიერთ განლაგებისას და ამ სადგურების მიერ გამოშვებული ელექტროენერგიის სხვადასხვა ტარიფებისას, თუ ამ სადგურებს შორის დატვირთვა ოპტიმალურადაა განაწილებული, მაშინ ელექტროსისტემაში ელექტროენერგიის გენერაცია-გადაცემის დანახარჯები და მომხმარებელთან მიწოდებული ელექტროენერგიის ტარიფი მინიმალურია. სადგურებს შორის დატვირთვის სხვა ნებისმიერი არაოპტიმალური გადანაწილება იწვევს აღნიშნული დანახარჯებისა და სამომხმარებლო ტარიფის ზრდას.

საკვანძო სიტყვები: ტარიფი, ოპტიმალური დატვირთვა;

mal. Any other non-optimal distribution of the loads between the stations causes the increase of the mentioned costs and of the consumer tariff.

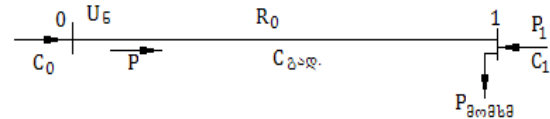
Keywords: tariff, optimum loading.

* * * * *

ელექტროსისტემის მუშაობის მაღალეფექტურობა და მოკიდებულია მომხმარებელთან მიწოდებული ელექტროენერგიის თვითღირებულებაზე, რომელიც ენერგიის გენერაციისა საშუალოშენიანი ტარიფისა და ამ ენერგიის გადაცემა-განაწილებაზე განეული ხარჯების პროპორციულია.

გენერაციის საშუალოშენიანი ტარიფი მით მაღალია, რაც უფრო მეტია ენერგობალანსში მონაწილე იმ ელექტროსადგურის ხვედრითი წილი, რომლის მიერ გამოშვებული ელექტროენერგიის ტარიფი მაღალია. გადაცემა-განაწილების ხარჯები მით მაღალია, რაც მეტია ელექტროენერგიის დანაკარგები გადაცემა-განაწილების ქსელში ანუ რაც უფრო ელექტრულად გრძელი გზით ხორციელდება მომხმარებელთა ელექტრომომარაგება.

განვიხილოთ უმარტივესი ელექტროგადაცემის სისტემა (ნახ.1). ამ სისტემაში წმოდ დატვირთვის მომხმარებელი პირდაპირ მიერთებულია "1" სადგურის სალქივზე.



ნახ.1.

დავუშვათ, რომ "0" მაბალანსირებელი (უმცირესი ტარიფის მქონე) სადგურიდან მომხმარებელს გადავცემთ P სიმძლავრეს და, შესაბამისად, დანარჩენი $P_{\text{მომხმ}} - P$ სიმძლავრე მიეწოდება "1" სადგურიდან. ამ შემთხვევაში ენერგიის გენერაცია-გადაცემის ჯამური ხარჯები

$$N = (P + \Delta P)(C_0 + C_{\text{გად}}) + C_1(P_{\text{მომხმ}} - P) = (P + \frac{P^2}{U_0^2} R_0)(C_0 + C_{\text{გად}}) + C_1(P_{\text{მომხმ}} - P) = \min$$

$$\frac{\partial N}{\partial P} = 0 \text{ მოთხოვნის შესაბამისად, გვაქვს}$$

$$(1 + \frac{2PR_0}{U_0^2})(C_0 + C_{\text{გად}}) - C_1 = 0$$

საიდანაც სიმძლავრის ის ოპტიმალური სიდიდე, რომელიც მომხმარებელს უნდა მიეწოდოს მაბალანსირებელი სადგურიდან გამოითვლება შემდეგნაირად

Summary

Ucha Khachiuri, PHD student

There is considered the simplest electricity transmission system, are given the cases of station loads distribution and interrelation of the tariffs of the electric energy generated by them, particularly:

The optimum loading of the low tariff station is as high,

- as the tariff of electric energy, generated by it, is lower, and the tariff of electric energy, generated by the alternative source (station working in the system) is higher;
- as the nominal stress of the electricity transmission is higher, and the resistance to electricity transmission is lower, i.e. this station is nearer to the consumer junction.

At the any inter-location of the electric stations and consumers, and various tariffs of electric energy generated by these stations, the costs of generation-transmission of the electric energy in the system and its delivery to the user is minimal, when the load distribution between these stations - opti-

$$P = \frac{U_6^2}{2R_0} \cdot \frac{C_1 - C_0 - C_{\text{გად.}}}{C_0 + C_{\text{გად.}}} = \frac{U_6^2}{2R_0} \cdot \frac{\Delta C - C_{\text{გად.}}}{C_0 + C_{\text{გად.}}},$$

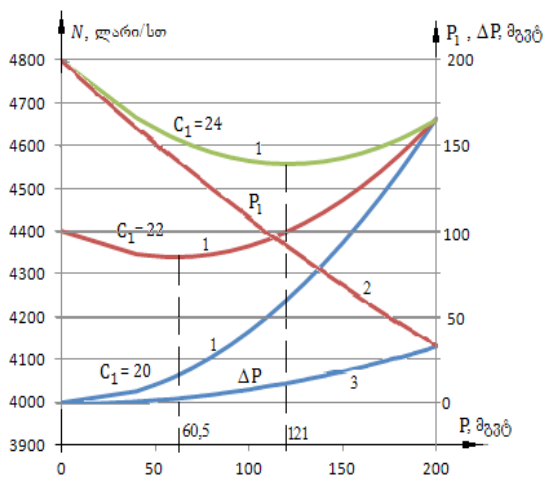
სადაც $\Delta C = C_1 - C_0$ წარმოადგენს "1" სადგურის მიერ გამოიშვებული ენერგიის ტარიფის ზედმეტობას მაბალანსირებელი (ანუ უფრო მცირე ტარიფის მქონე) სადგურის მიერ გამოიშვებული ენერგიის ტარიფთან შედარებით.

როგორც ამ ბოლო გამოსახულებიდან ჩანს, რომ დაბალი ტარიფის მქონე სადგურის ოპტიმალური დატვირთულობა მით მალალია:

- რაც დაბალია მის მიერ გამოიშვებული ელექტროენერგიის ტარიფი და მალალია ალტერნატიული წყაროს (სიტემაში მომუშავე სხვა სადგურის) მიერ გამოიშვებული ელექტროენერგიის ტარიფი;
- რაც მალალია ელექტროგადაცემის ნომინალური ძაბვა და დაბალია ელექტროგადაცემის წინააღობა ანუ ეს სადგური ელექტრულად რაც უფრო ახლოსაა მომხმარებლის კვანძთან;

უნდა აღინიშნოს, რომ თუ $C_+ < C_0 + C_{\text{გად.}}$, მაშინ $P < 0$, რაც იმას ნიშნავს, რომ დაბალი ტარიფის მქონე სადგურის დატვირთვა არაეკონომიკურია.

ნახ.2-ზე ნაჩვენებია ელექტროენერგიის გენერაცია-გადაცემის დანახარჯების დამოკიდებულება P და C_1 პარამეტრებზე (მრუდი 1), როცა: $C_0 = 15$ ლარი/მგვტს; $C_{\text{გად.}} = 5$ ლარი/მგვტს; $R_0 = 10$ ომი; $P_{\text{მომხმ.}} = 200$ მგვტ; $U_6 = 110$ კვ. აქვეა ნაჩვენები ეს-1 სადგურის დატვირთვა (მრუდი 2) და დანაკარგები ქსელში (მრუდი 3).



ნახ.2. 1 — ელექტროენერგიის გენერაცია-გადაცემის ხარჯები სხვადასხვა C_1 -ის დროს;

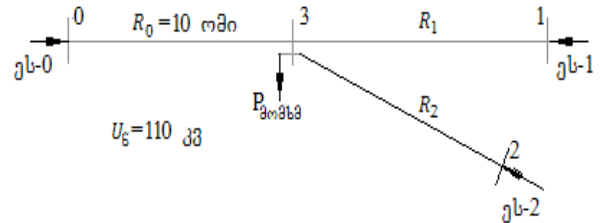
2 — ეს-1 სადგურის დატვირთვა ეს-0 სადგურის დატვირთვასთან დამოკიდებულებაში;

3 — დანაკარგები ქსელში.

ამ ნახაზიდან ჩანს, რომ ეს-0 სადგურის ოპტიმალური P დატვირთვა იზღდება C_1 ტარიფის ზრდასთან ერთად. კერძოდ, როცა $C_1 = 20$ ლარი/მგვტს, მაშინ $P = 0$, ხოლო როცა $C_1 = 22$ ლარი/მგვტს, მაშინ $P = 60,5$ და როცა $C_1 = 24$ ლარი/მგვტს, მაშინ $P = 121$

მგვტ-ს. გამოთვლებმა აჩვენა, რომ როცა $C_1 = 26,6$ ლარი/მგვტს, მაშინ $P = 200$ მგვტ-ს.

(ნახ.3)-ზე წარმოდგენილ სამსადგურიანი ელექტროსისტემაში განვიხილოთ ელექტროენერგიის გადაცემის რეჟიმის სხვადასხვა სცენარი. ელექტროგადაცემის ქსელი აგებულია $U_6 = 110$ კვ ნომინალურ ძაბვაზე.



ნახ.3. ნახაზზე ნაჩვენებ ელექტროსისტემაში ელექტროენერგიის გენერაცია-გადაცემის დანახარჯები

$$N = C_0 P_0 + C_1 P_1 + C_2 P_2 + C_{\text{გად.}} (P_{\text{მომხმ.}} + \Delta P)$$

სადაც: C_0 , C_1 და C_2 — შესაბამისად, ეს-0, ეს-1 და ეს-2 სადგურების მიერ გამოიშვებული ელექტროენერგიის ტარიფები;

P_0 , P_1 და P_2 — ამ სადგურების დატვირთვა;

$P_{\text{გად.}}$ — ელექტროენერგიის გადაცემის ტარიფი;

$P_{\text{მომხმ.}} = 200$ მგვტ. — მომხმარებლის დატვირთვა;

ΔP — სიმძლავრის დანაკარგები გადაცემის ქსელში

$$\Delta P = \frac{1}{U_6^2} (P_0^2 \cdot 0 + P_1^2 \cdot R_1 + P_2^2 \cdot R_2)$$

მოცემული ელექტროგადაცემის ქსელის კვანძების საკუთარი და ურთიერთ წინააღობები ნაჩვენებია ცხრ.1-ში.

ცხრ.1.

კვანძი №	1	2	3
1	$10 + R_1$	10	10
2	10	$10 + R_2$	10
3	10	10	10

სადგურებს შორის დატვირთვის ოპტიმალური განაწილების განტოლებათა სისტემას აქვს შემდეგი ზოგადი სახე

$$\sum_{j=1}^{n+m} P_j R_j = \frac{U_6^2}{2} \cdot \frac{C_0 - C_i}{C_0 + C_{\text{გად.}}}, \quad i \in J$$

$$\sum_{i=0}^n P_i = P_{\text{მომხმ.}} + \Delta P$$

აქ: $i = 1 \div n$ — გენერაციის წყაროების კვანძების ნომერი,

$j = n+1 \div n+m$ — მომხმარებელთა კვანძების ნომერი.

ჩვენს შემთხვევაში, სადგურებს შორის დატვირთვის ოპტიმალური განაწილების განტოლებათა სისტემას აქვს შემდეგი სახე

$$P_1(10+R_1)+P_2 \cdot 10 = \frac{12100}{2} \cdot \frac{C_0 - C_1}{C_0 + C_{\text{გაღ}}} + (P_{\text{მომხმ}} + \Delta P) \cdot 10$$

$$P_1 \cdot 10 + P_2(10+R_1) = \frac{12100}{2} \cdot \frac{C_0 - C_2}{C_0 + C_{\text{გაღ}}} + (P_{\text{მომხმ}} + \Delta P) \cdot 10$$

$$P_0 + P_1 + P_2 = P_{\text{მომხმ}} + \Delta P.$$

ვცვალოთ ეს-1 სადგურის დატვირთვა $P_1 = 1 \div 180$ მგვტ ფარგლებში და განვსაზღვროთ ელექტროენერგიის გენერაცია-გადაცემის დანახარჯები C_1 -ის სხვადასხვა მნიშვნელობებისას.

სცენარი 1. $C_0 = C_1 = C_2 = 15$ ლარი/მგვტსთ, $C_{\text{გაღ}} = 5$ ლარი/მგვტსთ, $R_1 = R_2 = 10$ ომი. პირველ მიახლოებაში მივიღოთ, რომ გადაცემის ქსელში სიმძლავრის დანაკარგები $\Delta P = 10$ მგვტ.

სადგურებს შორის დატვირთვის ოპტიმალური განაწილების განტოლებათა სისტემა მიიღებს შემდეგ სახეს

$$20 P_1 + 10 P_2 = 0 + 2100$$

$$10 P_1 + 20 P_2 = 0 + 2100$$

$$P_0 + P_1 + P_2 = 210,$$

$$\text{აქედან } P_0 = P_1 = P_2 = 70,0 \text{ მგვტ}$$

$$\Delta P = \frac{1}{U_k^2} (P_0^2 \cdot 10 + P_1^2 \cdot R_1 + P_2^2 \cdot R_2) = \frac{1}{12100} (70^2 \cdot 10 + 70^2 \cdot 10 + 70^2 \cdot 10) = 12,15 \text{ მგვტ.}$$

ამრიგად, გვაქვს

$$20 P_1 + 10 P_2 = 0 + 2121,5$$

$$10 P_1 + 20 P_2 = 0 + 2121,5$$

$$P_0 + P_1 + P_2 = 212,15$$

$$\text{საიდანაც } P_0 = P_1 = P_2 = 70,72 \text{ მგვტ.}$$

გამომდინარე იქედან, რომ დატვირთვის კვანძიდან სადგურების ელექტრული დაშორება ერთნაირია და ასევე ერთნაირია ამ სადგურების მიერ გამომუშავებული ელექტრული ენერგიის ტარიფები, სადგურების ოპტიმალური დატვირთვები ერთმანეთის ტოლია.

ამ შემთხვევაში ელექტროენერგიის გენერაცია-გადაცემის დანახარჯები

$$N = 15 \cdot 70,72 + 15 \cdot 70,72 + 15 \cdot 70,72 + 5 \cdot 212,15 = 4243 \text{ ლარი/სთ}$$

და მომხმარებელთან მიწოდებული ელექტროენერგიის ტარიფი

$$C_{\text{მომხმ}} = 21,22 \text{ ლარი/მგვტსთ.}$$

$$\text{ეს-1 სადგურის დატვირთვის } P_1 = 1 \div 140 \text{ მგვტ}$$

ფარგლებში ცვლილებისას გაანგარიშების შედეგები ნაჩვენებია ცხრ.2-ში.

სცენარი 2. $C_0 = C_2 = 15$ ლარი/მგვტსთ, $C_1 = 18$ ლარი/მგვტსთ, $C_{\text{გაღ}} = 5$ ლარი/მგვტსთ, $R_1 = R_2 = 10$ ომი. პირველ მიახლოებაში ჩავთვალოთ, რომ გადაცემის ქსელში სიმძლავრის დანაკარგები $\Delta P = 20$ მგვტ.

ამ შემთხვევაში სადგურებს შორის დატვირთვის ოპტიმალური განაწილების განტოლებათა სისტემა მიიღებს შემდეგ სახეს

$$20 P_1 + 10 P_2 = 1292,5$$

$$10 P_1 + 20 P_2 = 2200$$

$$P_0 + P_1 + P_2 = 220,$$

აქედან $P_0 = P_2 = 103,58$ მგვტ. $P_1 = 12,83$ მგვტ და შემდგომი იტერაციული გამოთვლებით მივიღეთ $\Delta P = 17,58$ მგვტ, $P_0 = P_2 = 102,79$ მგვტ. $P_1 = 12,0$ მგვტ

ამ შემთხვევაში ელექტროენერგიის გენერაცია-გადაცემის დანახარჯები

$$N = 15 \cdot 102,79 + 18 \cdot 12,0 + 15 \cdot 102,79 + 5 \cdot 217,58 = 4388,6 \text{ ლარი/სთ}$$

და მომხმარებელთან მიწოდებული ელექტროენერგიის ტარიფი

$$C_{\text{მომხმ}} = 21,94 \text{ ლარი/მგვტსთ.}$$

ეს-1 სადგურის დატვირთვის $P_1 = 1 \div 140$ მგვტ ფარგლებში ცვლილებისას გაანგარიშების შედეგები ნაჩვენებია ცხრ.2-ში.

სცენარი 3. $C_0 = C_2 = 15$ ლარი/მგვტსთ, $C_1 = 20$ ლარი/მგვტსთ, $C_{\text{გაღ}} = 5$ ლარი/მგვტსთ, $R_1 = R_2 = 10$ ომი. პირველ მიახლოებაში ჩავთვალოთ, რომ გადაცემის ქსელში სიმძლავრის დანაკარგები $\Delta P = 20$ მგვტ.

ამ შემთხვევაში სადგურებს შორის დატვირთვის ოპტიმალური განაწილების განტოლებათა სისტემა მიიღებს შემდეგ სახეს

$$20 P_1 + 10 P_2 = 687,5$$

$$10 P_1 + 20 P_2 = 2200$$

$$P_0 + P_1 + P_2 = 220,$$

აქედან $P_0 = P_2 = 110$ მგვტ. $P_1 = 0$ მგვტ და შემდგომი იტერაციული გამოთვლებით მივიღეთ, რომ სადგურების დატვირთვა არ შეიცვალა $P_0 = P_2 = 110$ მგვტ, $P_1 = 0$ მგვტ.

ამ შემთხვევაში ელექტროენერგიის გენერაცია-გადაცემის დანახარჯები

$$N = 15 \cdot 110 + 0 + 15 \cdot 110 + 5 \cdot 220 = 4400 \text{ ლარი/სთ}$$

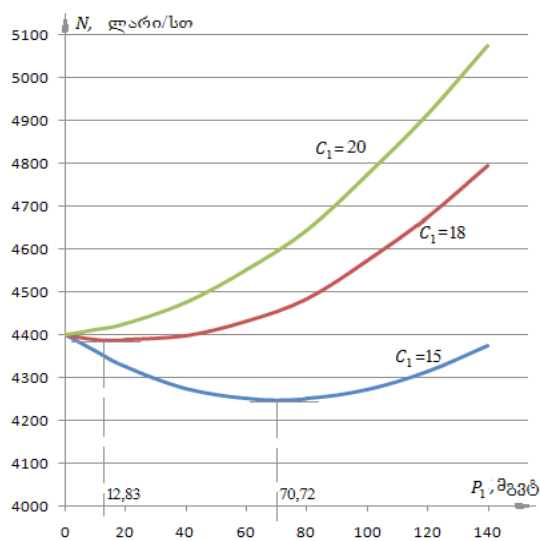
და მომხმარებელთან მიწოდებული ელექტროენერგიის ტარიფი

$$C_{\text{მომხმ}} = 22,0 \text{ ლარი/მგვტსთ.}$$

ეს-1 სადგურის დატვირთვის $P_1 = 1 \div 140$ მგვტ ფარგლებში ცვლილებისას გამოთვლების შედეგები მოცემულია ცხრ.2-ში.

სამივე სცენარის $N=f(P_i)$ დამოკიდებულება

ნაჩვენებია ნახ.4-ზე.



ნახ.4.

განგარიშების შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ როცა მომხმარებლის კვანძამდე კვების ცენტრების ელექტრული დაშორება ერთნაირია და ერთერთი კვების ცენტრის მიერ გამოთქმავებული ელექტროენერგიის ტარიფი მაღალია, მაშინ მისი ოპტიმალური დატვირთვა დანარჩენი კვების ცენტრე-

ბის დატვირთვაზე უფრო დაბალია.

დავუშვათ, რომ ეს-1 სადგური, რომლის $C_1=18$ ლარი/მგვტსთ, მომხმარებლის კვანძიდან დაშორებულია $R_1=8$ ომი ელექტრული სიდიდით, ხოლო დანარჩენი სადგურების ელექტრული დაშორებს და მათი ტარიფები დავტოვოთ უცვლელად. ამ შემთხვევაში ელექტროგადაცემის ქსელის კვანძების საკუთარი და ურთიერთ წინააღობები მნიშვნელობები იქნება (ცხრ.3).

ცხრ.3.

კვანძი №	1	2	3
1	18	10	10
2	10	20	10
3	10	10	10

პირველ მიახლოებაში მივიღოთ, რომ გადაცემის ქსელში სიმძლავრის დანაკარგები $\Delta P=13$ მგვტ, მაშინ სადგურებს შორის დატვირთვის ოპტიმალური განაწილების განტოლებათა სისტემას კი ექნება შემდეგი სახე

$$18 P_1 + 10 P_2 = -907,5 + 2130$$

$$10 P_1 + 20 P_2 = 0 + 2130$$

ცხრ.2.

C_1 ლარი/მგვტსთ	P_1 მგვტ	0	20	40	60	80	100	120	140
15	P_0 მგვტ	110	98,12	86,9	76,3	66,27	56,8	47,85	39,38
	P_2 მგვტ	110	98,12	86,9	76,3	66,27	56,8	47,85	39,38
	ΔP მგვტ	20,0	16,25	13,80	12,53	11,24	13,6	15,68	18,76
	ლარი/სთ	4400	4325	4276	4252	4251	4272	4314	4375
	$C_{\text{მომხმ.}}^{\text{ლარი/მგვტსთ}}$	22,0	21,63	21,38	21,26	21,26	21,36	21,52	21,88
18	P_0 მგვტ	110	98,12	86,9	76,3	66,27	56,8	47,85	39,38
	P_2 მგვტ	110	98,12	86,9	76,3	66,27	56,8	47,85	39,38
	ΔP მგვტ	20,0	16,25	13,80	12,53	11,24	13,6	15,68	18,76
	ლარი/სთ	4400	4389	4396	4432	4484	4572	4674	4795
	$C_{\text{მომხმ.}}^{\text{ლარი/მგვტსთ}}$	22,0	21,95	21,98	22,16	22,42	22,86	23,37	23,98
20	P_0 მგვტ	110	98,12	86,9	76,3	66,27	56,8	47,85	39,38
	P_2 მგვტ	110	98,12	86,9	76,3	66,27	56,8	47,85	39,38
	ΔP მგვტ	20,0	16,25	13,80	12,53	11,24	13,6	15,68	18,76
	ლარი/სთ	4400	4425	4476	4552	4644	4772	4914	5075
	$C_{\text{მომხმ.}}^{\text{ლარი/მგვტსთ}}$	22,0	22,13	22,38	22,76	23,22	23,86	24,57	25,38

$$P_0 + P_1 + P_2 = 213$$

განტოლებათა ამ სისტემის ამოხსნით ვღებულობთ $P_0 = P_2 = 100.4$, $P_1 = 12.117$ მგვტ. შემდგომი იტერაციული გამოთვლებით მივიღეთ: $P_0 = P_2 = 101.74$, $P_1 = 13.75$, $\Delta P = 17.23$ მგვტ, $N = 4386$ ლარი/სთ და $C_{\text{მომხმ}} = 21.93$ ლარი/მგვტსთ.

დავუშვათ, რომ ეს-1 სადგური, რომლის $C_1 = 18$ ლარი/მგვტსთ, მომხმარებლის კვანძიდან დაშორებულია $R_1 = 8$ ომი ელექტრული სიდიდით, ხოლო ეს-2 სადგური, რომლის $C_2 = 15$ ლარი/მგვტსთ, მომხმარებლის კვანძიდან დაშორებულია $R_2 = 12$ ომი ელექტრული სიდიდით.

ამ შემთხვევაში ელექტროგადაცემის ქსელის კვანძების საკუთარი და ურთიერთ წინააღობები მნიშვნელობები შეიცვლება (ცხრ.4).

ცხრ.4.

კვანძი №	1	2	3
1	18	10	10
2	10	22	10
3	10	10	10

პირველ მიახლოებაში მივიღოთ, რომ გადაცემის ქსელში სიმძლავრის დანაკარგები $\Delta P = 13$ მგვტ. მაშინ სადგურებს შორის დატვირთვის ოპტიმალური განაწილების განტოლებათა სისტემას კი ექნება შემდეგი სახე

$$\begin{aligned} 18 P_1 + 10 P_2 &= -907.5 + 2130 \\ 10 P_1 + 22 P_2 &= 0 + 2130 \\ P_0 + P_1 + P_2 &= 213 \end{aligned}$$

განტოლებათა ამ სისტემის ამოხსნით ვღებულობთ $P_0 = 105.874$, $P_1 = 18.897$ და $P_2 = 88.229$ მგვტ. შემდგომი იტერაციული გამოთვლებით მივიღეთ: $P_0 = 107.4$, $P_1 = 20.81$, $P_2 = 89.5$, $\Delta P = 17.71$ მგვტ, $N = 4413$ ლარი/სთ და $C_{\text{მომხმ}} = 22.06$ ლარი/მგვტსთ.

დასკვნა

ამრიგად, ელექტროსადგურებისა და მომხმარებელთა ნებისმიერი ურთიერთ განლაგებისას და ამ სადგურების მიერ გამოქვეყნებული ელექტროენერგიის სხვადასხვა ტარიფებისას, თუ ამ სადგურებს შორის დატვირთვა ოპტიმალურადაა განაწილებული, მაშინ ელექტროსისტემაში ელექტროენერგიის გენერაცია-გადაცემის დანახარჯები და მომხმარებელთან მიწოდებული ელექტროენერგიის ტარიფი მინიმალურია. სადგურებს შორის დატვირთვის სხვა ნებისმიერი არაოპტიმალური განაწილება იწვევს აღნიშნული დანახარჯებისა და სამომხმარებლო ტარიფის ზრდას.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. გ. მახარაძე, ენერგოსისტემების რეჟიმების მართვა და ოპტიმიზაცია, "ტექნიკური უნივერსიტეტი", 2005, გვ. 288.
2. გ. მახარაძე, უ. ხაჩიური, პირველი სტატია ჟურნალი "ენერგია" - ელექტრული ქსელის კვანძების საკუთარი და ურთიერთ წინააღობების განსაზღვრის მეთოდი პერსპექტიული განვითარების გათვალისწინებით.
3. Хольский В.Г. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей. М., Высшая школа, 1975.
4. Веников В. А. и др. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем. М.; Энергоатомиздат, 1981
5. თ. ჯიქია, ჰიდროსადგურთა კასკადის მუშაობის რეჟიმების ოპტიმიზაცია, სადოქტორო დისერტაცია, თბილისი, 2011.