

ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ЕЛЕКТРОЛИЗНИ УРЕДБИ

Илиян Илиев¹, Десислава Делчева¹, Росен Йорданов¹, Николай Лаков¹

¹Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“

ELECTRICITY EFFICIENCY IN THE OPERATION OF ELECTROLYSIS PLANTS

Ilian Iliev¹, Desislava Delcheva¹, Rosen Yordanov¹, Nikolay Lakov¹

¹University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”

Abstract

DC consumers (electrolysis baths, electrified transport, etc.) have a wide range of applications in various fields due to the good electrical characteristics they possess. The electrical energy for these consumers is usually obtained from controlled or uncontrolled valve converters, which have two significant disadvantages: generation of higher harmonics and consumption of reactive power. These negative phenomena have a considerable impact on the quality of electrical energy.

Keywords: energy efficiency, higher harmonics, electrical characteristics, reactive power

ВЪВЕДЕНИЕ

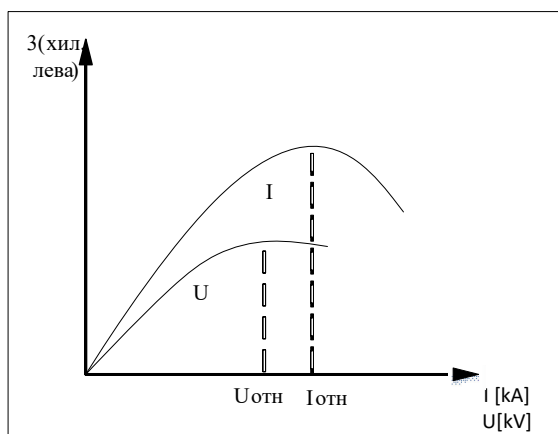
Потребителите на постоянен ток (електролизни вани, електрифициран транспорт и др.) имат голямо приложение в различни области вследствие по добрите електротехнически характеристики, които притежават. Електрическата енергия за захранване на тези потребители се получава обикновено от управляеми или неуправяеми вентилни преобразователи, които имат два съществени недостатъка: генериране на висши хармоници и потребление на реактивна мощност. Тези негативни явления имат съществено влияние върху качеството на електрическата енергия [1,9].

ИЗЛОЖЕНИЕ

Върху режима на електролизния процес и разхода на електрическа енергия голяма роля оказва качеството на напрежението, съставено от постоянна и про-

менлива част. В тази връзка е необходимо да се установи оптимален режим по напрежение, обуславящо оптимални показатели, т.к. частта на електрическата енергия достига до 40% от себестойността на продукцията. При дванадесет фазна схема на изправителя, обикновено вторичната намотка на захранващия трансформатор се състои от 4 части, две от тях са по схема звезда (Λ) и две в триъгълник (Δ), като векторите на вторичното напрежение са дефазирани на 30°. Напрежението се регулира под товар с помощта на стъпкови регулатори или плавно с регулиране на индуктивността на дросели с насищане. При съвместна работа на два изправителя се обезпечава компенсация на 5-ти и 7-ми хармоник на тока, докато при разделна работа този ефект не се получава, в резултат на което загубите на мощност от наличието на висши хармоници са значителни. Опти-

мизиране режима на напрежение на електролизния процес може да се извърши по критерий минимум на приведените годишни разходи. Основните съществени фактори, влияещи върху приведени годишни разходи (ПГР) са обема на произвежданата продукция, специфичния разход на електрическа енергия за единица продукция, загубите на активна и реактивна мощност в силовите трансформатори и др., като първите две имат доминиращо значение, а третия може да се пренебрегне. При експериментални изследвания могат да се съставят функциите $Z(U)$ и $Z(I)$ представляващи зависимости на ПГР от напрежението и тока на електролизерите фиг. 1.



Фиг. 1. Оптимални стойности $U_{\text{опт}}$ и $I_{\text{опт}}$

$$Z(U) = a + c * U_2; Z(I) = d + f * I_2 \quad (1)$$

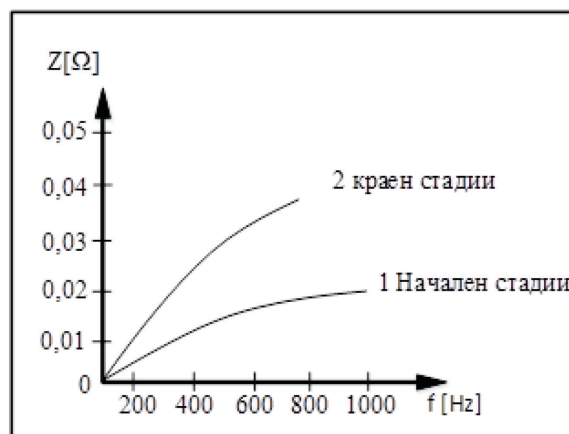
Оптималните стойности $U_{\text{опт}}$ и $I_{\text{опт}}$ се определят като се диференцират изразите и производните се приравняват на нула:

$$\partial Z / \partial U = 0 \rightarrow U_{\text{опт}} \quad (2)$$

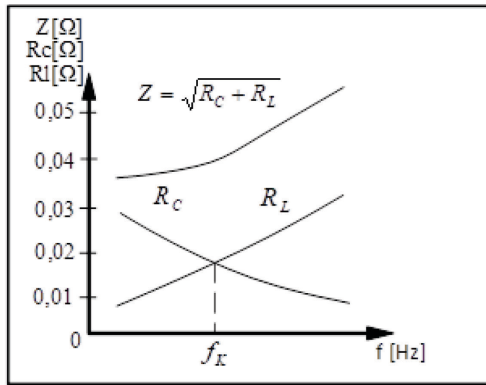
$$\partial Z / \partial I = 0 \rightarrow I_{\text{опт}} \quad (3)$$

$U_{\text{опт}}$ и $I_{\text{опт}}$ могат да обуславят еднакви или различни максимални стойности на ПГР, като при втория случай се препоръчва оптимизирането на режима на електролизната уредба да се извърши чрез автоматично регулиране на стойността на тока [2].

Към постоянният ток на изправителите се наслагва и променливата съставяща, като експерименталните изследвания доказват влияние върху технологичния процес на пулсиращата съставяща. Повишаването на интензивността на електролизния процес зависи от параметрите на електролита, характеристиките на кондензатора „електрод-електролит” и специфичните особености на технологичния процес. Експерименталните изследвания показват, че при честотата на пулсациите до 1000Hz увеличавения капацитет на кондензатора способства за рязко повишаване интензивността на електролизния процес. Пълното съпротивление Z на системата „електрод - разтвор” зависи от честотата на пулсиращото напрежение (фиг. 2): $Z = \varphi(f)$ като с увеличаване на f капацитивната съставяща на Z намалява и при определена честота $\rightarrow f_k$ то приема индуктивен характер. На фиг. 3 е показана амплитудно-честотната характеристика на Z за начален и краен стадии на експлоатация на електролизна уредба. Вижда се, че с увеличаването на f , Z нараства като от капацитивен характер се превръща в индуктивен. С увеличаването на Z се увеличава и общия пад по напрежение, а следователно се намалява интензивността на технологичния процес [5,6,7].



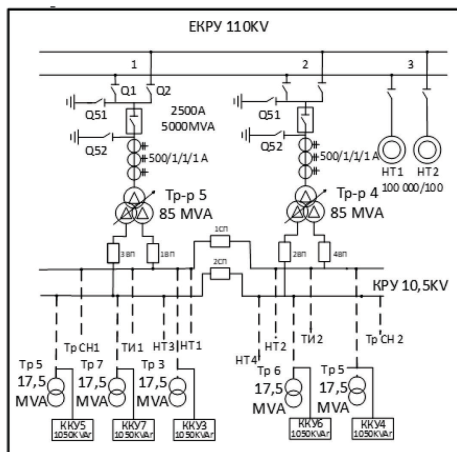
Фиг. 2. Пълното съпротивление Z във функция от честотата на пулсиращото напрежение



Фиг. 3. Амплитудно-честотната характеристика на пълното съпротивление Z

Обект на настоящото разглеждане е електроснабдителна система на голям химически завод за производство на ПВЦ. Производствените му звена преработват до стокони продуктите на хлоралкалната електролиза. Експерименталните изследвания показват, че при наличие на пулсации в изправения ток технологичния процес протича по – интензивно, отколкото при тяхното отсъствие. При пулсации с честота до 100Hz, капацитета на кондензатора „електрод – разтвор” е най-голям и рязко се увеличава скоростта на протичане на технологичния процес [3,8].

Пулсациите на тока подобряват също така равномерното му разпределение по повърхността на електродите, а също и газоотделянето от последните. Съществено влияние върху тока и напрежението ($I_{ел}$, $U_{ел}$) на електролизерите оказва отклонението на напрежението в захранващата мрежа на обекта $U_{мр}$ (фиг. 4).



Фиг. 4. Еднолинейна схема на завода

Това са трансформатори Тр 3, 4, 5, 6, 7, $U_{мр}=10,5kV$, при които регулирането на напрежението се осъществява ръчно под товар с диапазон на регулиране 11x1,5 %. Зависимостта $U_{ел}=f(I_{ел}, U_{мр})$ е необходимо да се оптимизира не само по отношение на технологичните параметри на електролизера, но и с отчитане на съществения фактор $U_{мр}$. Както беше показано, приведените годишни разходи зависят в квадратична форма от $U_{мр}$ и $I_{ел}$ (фиг. 1) и могат да се дефинират оптимални стойности $U_{мропт}$ и $I_{елопт}$. Икономическият ефект от въвеждане на стабилизация на $I_{ел}$ в околността на оптималната стойност $I_{елопт}$ достига стойности (35÷40) хил.лв. за година. Електролизните уредби се захранват с постоянно напрежение и ток $U_{ел}=600V$, $I_{ел}=240A$ получени от 12 фазни неуправляеми изправители схема Ларионов с естествено минимизиране нивото на висшите хармоници $n=12$; $k=±1$. Техен основен недостатък е генериране на висши хармоници на тока и консумация на реактивна мощност от мрежата, което налага съответната компенсация. Компенсиращата система на 10,5kV, $Q_k=5100kVAr$, е изградена основно за подобряване фактора на мощността на цех “Електролиза”, който е основен енергиен консуматор на завода. Необходимата компенсираща мощност се определя с помощта на израза:

$$Q_k = k * P_{ср} * (tg\phi_e - tg\phi_{ж}) \quad (4)$$

където :

$P_{ср}$ -среден месечен товар за промишлените обекти [kW];

$tg\phi_e$ и $tg\phi_{ж}$ - естествения и желаня $tg\phi$, съответстващи на $cos\phi_e$ и $cos\phi_{ж}$;

k - коефициент, отчитащ неравномерността на товаровия график

$$(k = 1,05 \div 1,25)$$

Табл.1. Енергетични показатели в годишен разрез

Месец	k	P _{ср.}	Q _{ср.}	tgφ _e	tgφ _ж	Q _k
	[-]	[kW]	[kVAr]	[-]	[-]	[kVAr]
Януари	1,01	9 688,28	7 970,11	0,823	0,484	3 317,146
Февруари	1,01	9 235,57	7 441,81	0,806	0,484	3 003,592
Март	1,01	11 930,72	9 183,47	0,770	0,484	3 446,308
Април	1,01	10 244,21	7 610,63	0,743	0,484	2 679,783
Май	1,01	12 197,78	9 260,68	0,759	0,484	3 387,933
Юни	1,01	10 018,86	7 657,08	0,764	0,484	2 833,334
Юли	1,01	11 745,86	8 480,69	0,722	0,484	2 823,470
Август	1,01	12 983,06	8 850,42	0,628	0,484	2 596,352
Септември	1,01	14 281,67	10 099,38	0,070	0,484	3 216,661
Октомври	1,01	14 623,89	10 275,07	0,703	0,484	3 234,658
Ноември	1,01	18 075,14	18 075,14	0,682	0,484	3 614,660
Декември	1,01	17 971,00	17 971,25	0,718	0,484	4 247,260

Анализът на получените в табл. 1 резултати показва, че най-голямата реактивна мощност е за месец декември, при която $Q_k = 1247,26 \text{ kVAr}$. На базата на тази мощност са избрани кондензаторните батерии и е уточнено тяхното разпределение по групи. Мощността на кондензаторните батерии се избира в съответствие с формулата:

$$\sum Q_{KB} \approx Q \quad (5)$$

Възприемаме принципа на групова компенсация на реактивните товари, като броя на групите съответства на броя на токоизправителите, и всяка група е присъединена към съответен изправител. Мощността и енергетичните параметри на отделните изправители са еднакви, което е основание компенсиращите мощности на отделните групи да бъдат също еднакви. Отчита се също така и факта, че прекомерното раздробяване води до значително увеличаване на комутационно – защитната апаратура и усложнява схемата [4]. Мощността на комплектните кондензаторни устройства, при компенсация на средно напрежение ($6 \div 10 \text{ kV}$), се определя от табл. 2:

Табл. 2

Препоръчителна мощност на ККУ за $U_H = 6 \div 10 \text{ kV}$						
300	450	600	750	900	1050	1200

Изхождайки от горните съображения, а също и от стандартната гама на мощностите на произвежданите от различни фирми кондензаторни батерии, се избира кондензаторната мощност на всяка група (ККУ) да бъде $Q_{KB_i} = 805 \text{ kVAr}$, следователно за общата компенсираща мощност се получава :

$$\sum_{i=1}^5 Q_{KB_i} = 4025 \text{ kVAr} \quad (6)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведеният анализ за постигане на електроенергийната ефективност при експлоатация на електролизните уредби потвърждава възможността за оптимизиране режима на работа, чрез регулиране на захранващото напрежение.

REFERENCE

- [1]Kirov P., Iliev I., Naydenov N., Study of power efficiency by industry in voltage mode control of ESS, Varna, International Conference "Power Engineering 2014".
- [2]Kirov P. M., Gyurov V. N., Stefanov S. S., Toshkov G. P., Peculiarities of the schematic solution and technical parameters of the power elements at the compensation of the reactive loads on the LV side of the "Polymers" JSC. Electric Power Engineering - 2006, Proceedings of the International Scientific and Technical Conference, 5-7 October 2006, Varna, Bulgaria, St. Petersburg 2007, pp. 289-294, ISBN 5-88718-024-2.
- [3]Kirov R. M., Electricity efficiency in the industrial sector by industry. Varna. Energy Forum 2011. pages 270-275.
- [4]Kirov R. M., Gyurov V. N., Stefanov S. S., Investigation of the possibilities for distribution of compensating capacities between LV and LV side of industrial objects. Energy Forum, Varna 2006
- [5]Kirov, R., Gyurov V., Chikov V.I., Makedonski N., Investigation of power losses from degraded power quality indicators for different industries, International Scientific and Technical Conference "Electric Power Engineering 2010", Varna, 2010, pp. 398-403.

- [6] Kirov R., V. Gyurov, V. Chikov, Study and analysis of electromagnetic compatibility in operation of the power supply system, Yearbook of TU-Sofia, 2011, volume 60, book 1, p.268-278, ISSN 1311-0829.
- [7] Kirov R., Iliev I., Electric Power Efficiency. II edition, 2017, Varna ENA Ltd.
- [8] Dzhustrov K., Iliev Z. Study of starting characteristics of a rubber belt conveyor for open pit mine conditions. International Scientific Conference of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" 2023
- [9] Chobanov, St., K. Dzhustrov, M. Menteshv, On the energy efficiency of electric furnaces operating with a reduced number of heaters. Year. of MSU "St. Ivan Rilski", p. 93-97. C. , 2012.