

ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА КОМПЕНСАЦИЯТА НА РЕАКТИВНИТЕ ТОВАРИ ПРИ НЕЛИНЕЙНИ РЕЖИМИ ВЪРХУ НАДЕЖДНОСТТА НА ЕЛЕКТРОСНАБДЯВАНЕТО

Илиев И.Х.¹, Панчев Х.И.², Тодоров В.В.³

¹Минно-геоложки Университет, София, Катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане“

²Технически Университет Варна, Варна, Катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане“

³Минно-геоложки Университет, София, Катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане“

INVESTIGATION THE EFFECTS OF COMPENSATION OF REACTIVE LOADS IN NONLINEAR REGIMES ON THE RELIABILITY OF ELECTRICITY

Iliev I.H.¹, Panchev H.I.², Todorov V.V.³

¹ University of Mining and Geology, Department of Electric Power Supply and Electrical Equipment

² Technical University of Varna, Department of Electric Power Supply and Electrical Equipment

³ University of Mining and Geology, Department of Electric Power Supply and Electrical Equipment

Abstract

In the case of non-linear loading, the probability of the occurrence of resonant phenomena increases sharply, especially in case of incorrectly calculated and realized compensation of the reactive loads. This leads to a deterioration in the reliability and resilience of power supply systems. The aim of the present study is to determine the compensating capacity of capacitor banks in the presence of higher current harmonics, as well as to establish its relationship with electromagnetic compatibility and reliability of power supply. The methodology of the survey covers theoretical aspects related to determining the compensating effect of capacitor banks in nonlinear modes, the analysis of electromagnetic compatibility and resonant frequencies of the studied objects, as well as forecasting the characteristics of reliability functions $R(t)$ and failure intensity $\lambda(t)$. The results of the study are related to two industrial sites of metallurgy and mining – Alcomet LTD and a large manganese mine. The relative load of the capacitor banks, THD_i, the resonant frequency f_p , $R(t)$ and $\lambda(t)$ were determined. The main sources of development refer to the cases of realized at medium and high values of $\cos\varphi$ in the conditions of strong nonlinearity, in which it is often appropriate to use passive or active filters instead of excessively increasing the power of the capacitor banks. It is practically confirmed and quantified that there are clear correlations between electromagnetic compatibility and reliability of power supply, which are largely determined by the quality and technical and economic level of compensation of reactive loads. Such a research approach is innovative and has substantial grounds for originality.

Keywords: reactive power compensation, reliability of electricity supply, electromagnetic compatibility.

I. ВЪВЕДЕНИЕ

При нелинейно натоварване, освен поява на допълнителни загуби на мощност и ел. енергия (ЕЕ), рязко се повишава вероятността за възникване на резонансни явления при неправилно разчетена и реализирана компенсация на реактивните товари (КРТ) и от там влошаване на надеждността на електро-снабдяването. В тази връзка е необходимо

да се извършват прецизни изчисления и прогнози на фактора на мощността и компенсирателната способност на кондензаторните батерии (КБ) с цел намаляване на тази вероятност. Освен това този подход дава възможност за подобряване на експлоатационните характеристики на електротехническите съоръжения, респективно устойчивостта и безаварийната работа на електрообзавеждането.

II. ИЗЛОЖЕНИЕ

При наличие на висши хармоници (в.х.) на напрежението (U) и тока (I) в КБ, загубите в тях се увеличават и стойността на мощността им Q_{KB} за първи хармоник на U и I се изменя до стойност за съответната нелинейност Q'_{KB} , като възниква вероятност от претоварване, определено от израза [1, 2, 8, 9, 13]:

$$Q'_{KB} = \gamma_U \cdot \gamma_I \cdot Q_{KB} \quad (1)$$

където: γ_U и γ_I са парциални коефициенти, характеризиращи деформацията на формата на кривата на U и I .

Определянето на коефициентите γ_U и γ_I става в съответствие с изрази (2) и (3):

$$\gamma_U = 1 + \sum_{v=2}^{\infty} (v^2 - 1) \cdot \left(\frac{U_v}{U_1}\right)^2 \quad (2)$$

$$\gamma_I = 1 + \sum_{v=2}^{\infty} (v^2 - 1) \cdot \left(\frac{I_v}{I_1}\right)^2 \quad (3)$$

където: U_v и I_v са съответно в.х. на напрежението и тока; U_1 и I_1 – първи хармоници на напрежението и тока; v – номер на съответния хармоник.

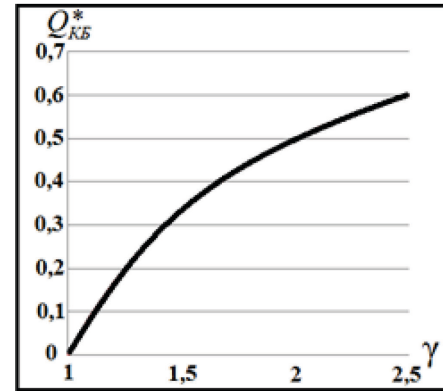
От (2) и (3) е ясно, че γ_U и γ_I имат стойности по – големи от единица и в съответствие с (1), при значителни стойности на γ_U и γ_I е възможно да се получи съществено претоварване на КБ. Относителното изменение Q_{KB}^* на претоварването на КБ може да се определи с помощта на израза:

$$Q_{KB}^* = \frac{Q'_{KB} - Q_{KB}}{Q_{KB}} = 1 - \frac{1}{\gamma_U \cdot \gamma_I} = 1 - \frac{1}{\gamma} \quad (4)$$

където: $\gamma = \gamma_U \cdot \gamma_I$ – комплексен коефициент на деформация на формата на кривата на U и I .

Израз (4) всъщност показва в каква степен в относителни единици се е намалила компенсиращата способност на КБ при тяхното претоварване от в.х. на U и I , определено от израза (1). Графичното представяне на израз (4) е показано на фиг. 1, от която може

да се направи извода, че компенсиращата способност на КБ, зависища реципрочно от изменението на Q_{KB}^* , съществено се намалява с увеличаването на комплексния коефициент γ , т.е. с увеличаването на деформацията на формата на кривата на U и I , оценени с парциалните коефициенти γ_U и γ_I .



Фиг. 1 Зависимост $Q_{KB}^* = f(\gamma)$

КРТ при нелинейно натоварване е пряко свързана с електромагнитната съвместимост (ЕМС) от която в голяма степен зависи надеждността на електроснабдяването [5,6,7,10]. Изследванията доказват, че съществува корелационна зависимост между функцията на надеждността $R(t)$, и относителното изменение на мощността Q_{KB}^* на КБ при нелинеен режим.

III. ПРАКТИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Обект на изследване са електроснабдителните системи (ЕСС) на две големи фирми от металургическата промишленост и рудодобива. В предприятието за производство на алуминиеви профили анализа на електропотреблението се осъществява с помощта на изградена система за енергиен мениджмънт на немската фирма YANITZA ELECTRONICS [4]. Направените измервания дават възможност да се построят зависимостите $Q_{KB}^* = f(\gamma)$ за 12-те основни цеха на завода (на фиг. 2 са показани две зависимости за ЦП208 и ЦП209). В табличен вид (табл.1) са представени осреднени стойности за Q_{KB}^* , THD_I , фактора на мощността ($\cos\phi$), резонансната честота f_p , $R(t)$, и интензивността на отказите $\lambda(t)$ за същите цехове, получени от конкретните изследвания а също така и в резултат на многогодишни анализи.

Табл. 1 Характеристики за ЦП на обекта

№ на ЦП	$S_{н.тр.}$ [kVA]	Q_{\cos^*}	$\cos\varphi$	f_p	$\lambda(t)$	$R(t)$	THD_I
ЦП20	630	0,64	0,87- 0,94	577,5 $v=11$	0,0158	0,9842	27,3
ЦП207	400	0,62	0,82- 0,94	752,8 $v=15$	0,0181	0,9819	28,1
ЦП208	630	0,52	0,87- 0,96	538,7 $v=11$	0,0173	0,9827	29,1
ЦП209	1000	0,64	0,88- 0,96	563,2 $v=11$	0,0162	0,9838	28,5
ЦП210	1000	0,54	0,82- 0,92	458,7 $v=9$	0,0156	0,9844	19,1
ЦП211	1000	0,26	0,84- 0,93	468,5 $v=9$	0,0138	0,9862	16,3
ЦП212	1600	0,32	0,86- 0,95	437,8 $v=9$	0,0126	0,9874	19,7
ЦП101	1600	0,38	0,89- 0,92	443 $v=9$	0,0118	0,9882	16,8
ЦП102	1600	0,59	0,84- 0,94	439,5 $v=9$	0,0122	0,9878	19,1
ЦП115	1600	0,48	0,88- 0,93	442,7 $v=9$	0,0126	0,9874	20,5
ЦП203	1600	0,38	0,86- 0,95	447,2 $v=9$	0,0114	0,9886	11,3
ЦП231	1600	0,31	0,83- 0,95	438,7 $v=9$	0,0121	0,9879	9,4

Табл.2 Резултати от измерванията за рудника

S_{cp} kVA	$\cos\varphi_{cp}$	$Q_{k.ср}$ kVar	δU %	ϵU %	ϵI %	THD_U %	THD_I %
<i>Подземна част</i>							
818	0,83	202	0,93 ÷ 1,01	1,71 ÷ 2,46	4,62 ÷ 28,3	2,67 ÷ 12,8	4,79 ÷ 33,1
<i>Надземна част</i>							
632	0,88	136	0,95 ÷ 1,03	0,96 ÷ 1,97	3,15 ÷ 14,7	2,12 ÷ 9,85	4,55 ÷ 27,8

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

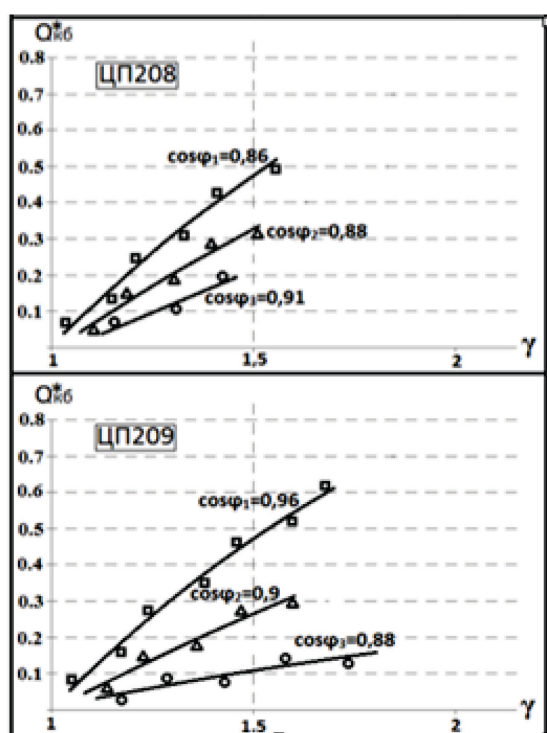
Направените изследвания за двата обекта дават възможност да се направят следните по-важни изводи.

1. Предприятие за алуминиеви профили:

- Съществува вероятност за поява на резонансни явления при определени съотношения на капацитивните и индуктивните съпротивления на КБ, СТ и нелинейният товар. Направените изчисления показват, че тази вероятност е най – голяма в границите $v = (9 \div 15)$ хармоник на тока като е възможен резонанс и при четни хармоници ($v = 12$). За избягване на резонансни явления е необходимо да се използват антирезонансни филтри, осигуряващи непопадане на натоварвания в този диапазон.
- От фиг. 2 се вижда, че при по – големи стойности на $\cos\varphi$ ($\cos\varphi \geq 0,85$) е необходимо да се добави по – голямо капиталовложение за КБ предвид създадения дефицит, в следствие по – силното намаляване на компенсиращата им способност. В такъв случай понякога се оказва по – целесъобразно да се въздейства за намаляване на γ , т.е. прилагане на мероприятия за минимизиране нивото на в.х. Правилното техническо решение може да се избере след извършване на технико - икономическия анализ на два варианта - увеличаване на мощността на КБ и инсталиране на филтро - компенсиращи системи за ограничаване нивото на в.х. (пасивни и активни филтри).

2. Манганова мина:

- Енергетичната част на подземната част на ЕСС на рудника се характеризира с голяма динамика, неопределеност и с малки



Фиг. 2 Зависимост $Q_{кБ}^* = f(\gamma)$ за ЦП208 и 209

Апробация на представената постановка е направена в голяма манганова мина, захранвана от два СТ по 630kVA. По отношение на надеждност на електроснабдяване, обекта е нулева категория. Изследванията са направени с помощта на анализатор ALPFA P+, в две контролни точки на подземна и надземна част на рудника. Част от резултатите на изследването (среден товар $S_{ср}$, $\cos\varphi_{ср}$, средно отклонение на напрежението δU , коефициенти на несиметрия по ток и по напрежение, ϵU и ϵI , интегралните коефициенти на несинусоидалност по ток и по напрежение THD_I и THD_U) са представени в табл. 1 [3, 11, 12].

възможности за прогнозируемост. Коефициентът на товара β се изменя в широки граници, същото се отнася и за $\cos\varphi$, а коефициентите на използване и едновременност имат големи дисперсионни съставлящи. Това налага да се набележат конкретни мероприятия за намаляване на загубите от дисперсионни субстанции и въвеждане на динамичен и автоматизиран режим на компенсация на реактивните товари.

- Качеството на ЕЕ в рудника е в незавидно състояние. Режимите на работа могат да се характеризират като силно несиметрични и несинусоидални. Показателите ϵ_U , ϵ_I , THDU и THDI излизат извън ограниченията на нормативните изисквания на редица стандарти. Необходимо е да се набележат конкретни мероприятия за подобряване на ПКЕЕ, като оптимизиране на режимите на работа, схемотехнически промени, въвеждане на симетро и филтрово - компенсиращи устройства или да се оптимизира КРТ с цел повишаване на надеждността на ЕСС.

REFERENCE

- [1] Василев Н. И., Сидеров С. Т., Електроснабдяване на промишлени предприятия, София, 1991г. // Vasilev N. N., Siderov S. T., Elektrosnabdyavane na promishleni predpriyatiya, Sofiya, 1991 g.
- [2] Киров Р.М., Илиев И.Х., Изследване и оптимизация компенсацията на реактивните товари при нелинейно натоварване, Енергиен форум, 2015г., част I, стр. 125-132, ISSN 2367-6728. // Kirov R.M., Iliev I.H., Izsledvane I optimizatciya kompensatsiyata na reaktivnite tovari pri nelineyno natovarvane. Energien forum, 2015г., chast I, str. 125-132, ISSN 2367-6728.
- [3] Киров Р.М., Гюров В., Н. Найденов Н., Илиев И.Х., Изследване на енергетичните характеристики и качеството на електрическата енергия в електроснабдителната система на „Евроманган“ АД, Енергиен форум, 2015г., част IV, стр. 30-35, ISSN 2367-6728. // Kirov R.M., Gyurov V.N., Naydenov N., Iliev I.H., Izsledvane na energetichnite karakteristiki i kachestvoto na elektricheskata energiya w elektrosnabditelnata sistema na “Evromangan” AD, Energien forum, 2015г., chast IV, str. 30-35, ISSN 2367-6728.
- [4] Киров Р.М., Гюров В.Н., Чиков В.Ч., Изследване и анализ на ЕМС при експлоатацията на ЕСС на промишлени обекти, II Научна конференция ЕФ 2010, гр. Созопол, Годишник ТУ – София, 2011, т. 60 книга 1, стр.268-278, ISSN 13-11-0829. // Kirov R.M., Gyurov V.N., Chikov V.Ch., Izsledvane I analiz na EMS pri eksploataciya na ESS na promishleni obekti, II Nauchna konferenciya EF 2010, gr. Sozopol, Godishnik na TU – Sofiya, 2011, t. 60 kniga 1, str.268-278, ISSN 13-11-0829.
- [5] Proykov M., Some theoretical aspects of electromagnetic compatibility in industrial enterprises, XXVII International Scientific Conference, Stara Zagora, 2017, Volume VII, 2017, Number 4: Technical studies, 2017, ISSN 1314-4111.
- [6] Proykov M., Influence of current and voltage high harmonics on the lifetime of power transformers in „PROMET STEEL“ JSC, BURGAS, Annual University Scientific Conference 2020, ISSN 1314-1937, “Vasil Levski” NMU, Veliko Turnovo.
- [7] Proykov M., The effect of reactive power compensation on the operation of power supply system of „ELKABEL“ LTD, Annual University Scientific Conference 2020, ISSN 1314-1937, “Vasil Levski” NMU, Veliko Turnovo.
- [8] Georgiev G., Letskovska S., Seymenliyski K., Rahnev P., Determination of Harmonics Level in Local Electrical Distribution System, ICESST 2016, Communication And Energy Systems And Technologies, 2016, Ohrid, Macedonia, ISBN-10, 9989-786-78-X, ISBN-13 978-9989-786-78-5, Proceedings of Papers p. 347-351.
- [9] Georgiev G., Nedev M., Petkov P., Chikov V., Angelov G, An estimating of electrical power for suppression of harmonics in the electrical distribution bars and systems with the current impulses influence, Journal of Marine Technology and Enviroment. Romania vol. 1 2009, pp 53-58, 2009 Publisher: Constanta Maritime University ISSN: 1844-6116.
- [10] Стоилов, Ив., К. Джустров, М. Ментешев. Едно нетрадиционно решение за управление на реактивната енергия в рудник “Елаците”. Годишник на МГУ „Св.Иван Рилски”, 2004, т. 47, св. III, 77-80. // Stoilov, Iv. K. Dzhustrov, M. Mentechev. Edno netraditsionno reshenie za upravlenie na reaktivnata energiya v rudnik “Elatsite” Godishnik na MGU “Sv. Ivan Rilski”, 2004 t. 47, Sv. III, 77-80
- [11] Джустров К., Оптимално компенсиране на реактивните товари чрез синхронни двигатели, Енергиен форум, 2019г., стр. 243-249, ISSN 2367-6728. // K. Dzhustrov. Optimalno

kompensirane na reaktivnite tovari shrez sinhronni dvigateli, Energien forum 2019, str. 243-249, ISSN 2367-6728.

[12] Стоилов, Ив., К. Джустров, Оптимално компенсиране на реактивните товари в предприятия със синхронни електродвигатели, Енергиен форум, 2018г., стр. 142-150, ISSN 2367-6728. // Stoilov, Iv. K. Dzhustrov. Optimalno

kompensirane na reaktivnite tovari v predpriyatiya sas sinhronni elektrodvигateli, Energien forum 2018g., str. 142-150, ISSN 2367-6728.

[13] Dzhustrov K., Iv. Stoilov, Compensation of reactive power in enterprises with a highly uneven loading schedule, Unitech 2018 Gabrovo, 62-67