

## ЕЛЕКТРИЧЕСКО ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА БУТАЛЕН КОМПРЕСОР

Свилен Рачев<sup>1</sup>, Любомир Димитров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Технически университет – Габрово

<sup>2</sup>Технически университет – Габрово

## ELECTRICAL SIZING OF A RECIPROCATING COMPRESSOR

Svilen Rachev<sup>1</sup>, Lyubomir Dimitrov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Technical University – Gabrovo

<sup>2</sup> Technical University – Gabrovo

### Abstract

*The widespread use of compressors in the industry is known. On the other hand, there is currently a general orientation worldwide towards energy-efficient technical solutions. If we consider a compressor unit as an electromechanical system, and the motor as its element, then we must undoubtedly take into account that the merits of the electric motor can be fully realized, only on the condition that the right electric motor is chosen and meets all the requirements. Its reliability when working as part of the electromechanical system and energy indicators in the process of operation depend on its correct power selection. All this makes the question of an appropriate choice of an electric motor for a compressor system relevant, as well as obtaining specific characteristics related to work processes. The main goal and tasks to be implemented in this paper are precisely these questions.*

**Keywords:** induction motor, reciprocating compressor, performance characteristics, energy efficiency.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Компресорите са много важен компонент, масово разпространени и използвани в различни отрасли. Намират приложение като се започне от домашните хладилници, промишлени инсталации и се стигне до космическите съоръжения (напр., охлаждане на горивото на ракетите-носители).

Компресорите са устройства, служещи за съгъстяване на газове под определено налягане и подаването им към потребителите чрез тръбопроводи.

Накратко компресорните устройства са съставени от [1]:

- електродвигател;
- нагнетателно устройство;
- резервоари (ресивери) за съхранение на необходимия газ;
- съединителни шлангове и тръби.

Компресорите биват обемни и турбокомпресори. Турбокомпресорите от своя страна се подразделят на центробежни, осеви и диагонални, а обемните – на бутални и ротационни.

Поради широкия диапазон на наляганията буталните компресори се отличават с многообразните си схеми на действие и устройство.

При малки компресорни уредби, които работят с налягане до 6 атмосфери се използват едностепенни компресори. При компресорни уредби, които работят по-продължително време в денонощието, с налягане над 6 атмосфери, се използват двустепенни компресори.

Основни величини (параметри), характеризиращи работата на компресора са: дебит, начално и крайно налягане или степента на съгъстяване, честота на въртене и мощност на вала на компресора.

## НЯКОИ СЪОБРАЖЕНИЯ

Повечето работни механизми и машини се привеждат в движение от електродвигатели. Всеки електродвигател, заедно с механични устройства (редуктори, трансмисии, коляно-мотовилкови механизми и др.), служещи за предаване на движение на работния орган, а също и с устройствата за управление и контрол, образува електромеханична система, която се явява енергетична, кинематична и кибернетична (в смисъл на управление) основа за функциониране на работните машини.

Електродвигателите, използвани в компресорните устройства, се явяват елемент на електромеханичната система. Те могат да работят с постоянен или променлив (еднофазен и трифазен) ток. Най-често употребявани са асинхронните двигатели с накъсосъединен ротор, работещи с променлив ток.

Преимущества на асинхронните двигатели с накъсосъединен ротор са тяхната икономичност, простота на устройство и управление, удобна конструкция и голяма сигурност в експлоатацията, малки размери, имат най-малка специфична маса за единица мощност, евтини са, лесно се запазват. Пусково-регулирущите им характеристики не са много добри, т.к. пусковият им момент е малък, а пусковият ток голям, (превишава от 5 до 7 пъти номиналния ток на двигателя), но тези отрицателни страни са търпими [2].

Достойнствата на електродвигателя могат да бъдат напълно реализирани, само при условие, че е избран правилният и отговарящ на всички изисквания електродвигател. От правилния му избор по мощност зависят неговата надеждност при работа в състава на електромеханична система и енергийните показатели в процеса на експлоатация (електрически коефициент на полезно действие, фактор на мощността и др.).

С използването на електродвигател притежаващ излишна мощност, неоправдано се повишават габаритите на системата, нейната маса, стойност (цена) и се влошават нейните енергийни показатели. При използване на такъв електродвигател се увеличават

загубите и времето на излизане от работен режим (времето за спиране).

Недооформяването по мощност (в сравнение с необходимата) на електродвигателите също не е целесъобразно поради това, че се прегряват над допустимите норми и се намалява производителността на механизмите, главно поради влошени качества на преходните процеси [3].

Поради това мощността на електродвигателя трябва да бъде в строго съответствие с режимите на работа и натоварването.

За да се избере мощността на електродвигателя, може да се постъпи по следния начин. Като се използва кривата на момента в зависимост от ъгъла на завъртане  $\alpha - M=f(\alpha)$ , може да се намери средната стойност на момента  $M_{cp}$  и привеждайки го към вала на двигателя с предавателно число  $i$  с отчитане на загубите в предавката, ще се получи:

$$M'_{cp} = \frac{M_{cp}}{i\eta_{np}} \quad (1)$$

С този момент може ориентировъчно да се избере електродвигател с най-близкия по каталог по-голям момент. За този електродвигател се отчита  $GD_o^2$  и общият приведен махов момент ще бъде [4]:

$$GD_{np}^2 = GD_o^2 + \frac{GD_{max}^2}{i^2} \quad (2)$$

С помощта на  $GD_{np}^2$  може да се построи кривата на момента на вала на двигателя в зависимост от времето  $M_o = f(t)$ , като се използват известни методи от теорията на електрозадвижването. От получената крива може да се определят средноквадратичният и максималният момент, по който се проверява ориентировъчно избраният електродвигател. Ако се окаже, че избраният електродвигател не е подходящ, избира се следващият по мощност и изчисленията се повтарят.

Освен по гореописания начин определянето на необходимата двигателна мощност

при бутални компресори може да се извърши с помощта на товаровата диаграма. Това е показано по-долу.

### ИЗБОР НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛ ЗА ЗАДВИЖВАНЕ НА КОМПРЕСОР

Предварително зададени условия за работа на компресора: влажност до 90%; температурни граници от -20 до +20°C, надморска височина до 1000 m. Изходните данни са показани в Табл. 1.

Табл. 1. Данни на разглеждания компресор

Предавателно отношение на редуктора, $i$	Номинална честота на въртене, $n_H, \text{min}^{-1}$	Инерционен момент на механизма, $J_{\text{мех}}, \text{kg.m}^2$
3	730	$3 \cdot 10^{-2}$

В съответствие с изходните данни и посоченото в източник [1] изменението на съпротивителния момент за един оборот на колянвия вал е дадено в Табл. 2.

По зададените стойности на съпротивителния момент, приложен към вала на двигателя се определя еквивалентния такъв:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{1}{m i^2} \sum_{k=1}^m M_{ck}^2}; \quad (3)$$

$$M_{\text{екв}} = 28.3339, \text{ Nm}$$

Определяне на ъгловата скорост на ротора на електродвигателя:

$$\omega_H = \frac{n_H \cdot \pi}{30}; \text{ rad/s} \quad (4)$$

Определяне на еквивалентната мощност на електродвигателя:

$$P_{\text{екв}} = \frac{M_{\text{екв}} \cdot \omega_H}{10^3}; P_{\text{екв}} = 2.166 \text{ kW} \quad (5)$$

Табл. 2. Стойности на съпротивителния момент

№	$M_{ck}, \text{ Nm}$
1	0
2	-4.5
3	-7.2
4	-1.8
5	12.6
6	36
7	64.8
8	90
9	100.8
10	99
11	81
12	45
13	9
14	10.8
15	21.6
16	59.4
17	99
18	135
19	147.6
20	147.6
21	136.8
22	120.6
23	97.2
24	57.6
25	30.6

От [5] избираме асинхронен електродвигател с технически данни, дадени в Табл. 3.

Табл. 3. Технически данни на избрания електродвигател

Тип	$P_n, \text{ kW}$	При номинално натоварване			$\frac{M_m}{M_n}$	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{I_n}{I_n}$	$J, \text{ kgm}^2$	$n_o, \text{ min}^{-1}$
		$n, \text{ min}^{-1}$	$\eta, \%$	$\cos \varphi$					
АО2-42-8	3.0	710	80.2	0.71	2.2	1.2	4.0	0.2	750

където:  $n$  - честота на въртене на ротора на електродвигателя,  $\text{min}^{-1}$ ;  
 $n_o$  - синхронна честота на въртене,  $\text{min}^{-1}$ ;

$\eta$  - к.п.д. на двигателя, %;  
 $\cos \varphi$  - фактор на мощността на  
 електродвигателя;

$\frac{M_m}{M_H}$  - кратност на максималния  
 момент;

$\frac{M_n}{M_H}$  - кратност на пусковия  
 момент;

$\frac{I_n}{I_H}$  - кратност на пусковия ток;

$J$  - инерционен момент на ротора,  
 $\text{kgm}^2$ .

Трифазните асинхронни електро-двигатели с накъсосъединен ротор тип АО2-42-8 са предназначени за продължителен режим на работа S1. Произвеждат се за директно пускане и работа към мрежата ниско напрежение 230/400V с честота 50 Hz.

Моменти на двигателя – номинален и максимален (уточняване на изчисленията):

$$M_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{\omega_H}; \quad M_H = 39,2437, \quad \text{Nm};$$

$$M_{max} = \lambda \cdot M_H; \quad M_{max} = 86,33614, \text{ Nm}$$

където:  $\lambda$  – кратност на максималния момент.

Номинално и максимално хлъзгане:

$$s_H = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0}; \quad s_H = 0,0267;$$

$$s_{max} = s_H \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}); \quad s_{max} = 0,1109.$$

където:  $\omega_0$  – синхронна ъглова скорост на електродвигателя по каталожни данни, rad/s.

Формула на Клос:

$$M_\partial = \frac{2M_{max}}{\frac{s}{s_{max}} + \frac{s_{max}}{s}}, \text{ Nm}; \quad (6)$$

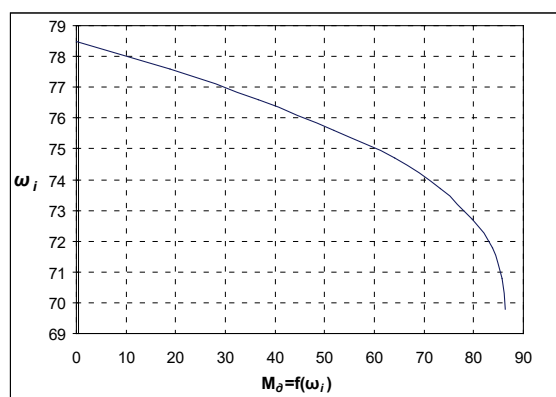
- С помощта на формулата на Клос (6) построяваме механичната характеристика на електродвигателя. Задавайки различни стойности за хлъзгането  $s$  получаваме съответните стойности за двигателния момент  $M_\partial$ .

Стойностите за изменението на ъгловата скорост на въртене на ротора  $\omega_i$  получаваме също задавайки различни стойности за  $s$ , по следната формула:

$$\omega_i = \omega_0(1-s), \text{ rad/s} \quad (7)$$

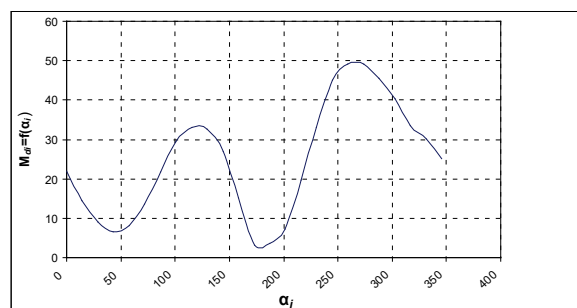
По данните от изчисленията построяваме механичната характеристика

$M_\partial = f(\omega)$  – фиг. 1.



Фиг. 1. Работен участък на механичната характеристика на двигателя

Определени са и стойностите на ъгловия момент на вала на електродвигателя за различни ъгли на завъртане на вала на компресора, а също и стойности на изходящата мощност на вала на ротора.

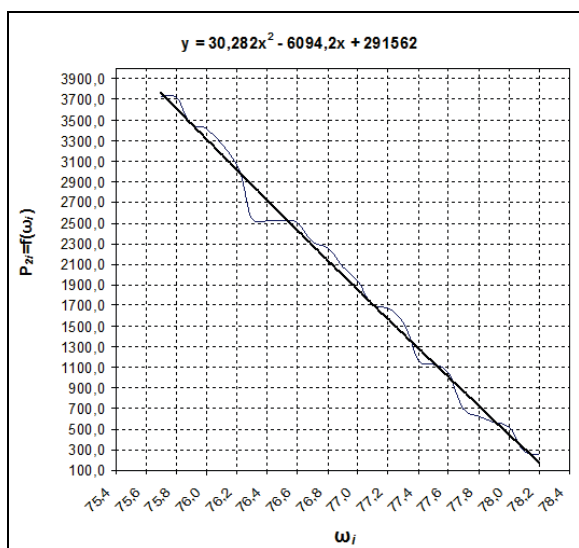


Фиг. 2. Стойности на ъгловия момент на вала на двигателя за различните ъгли на завъртане

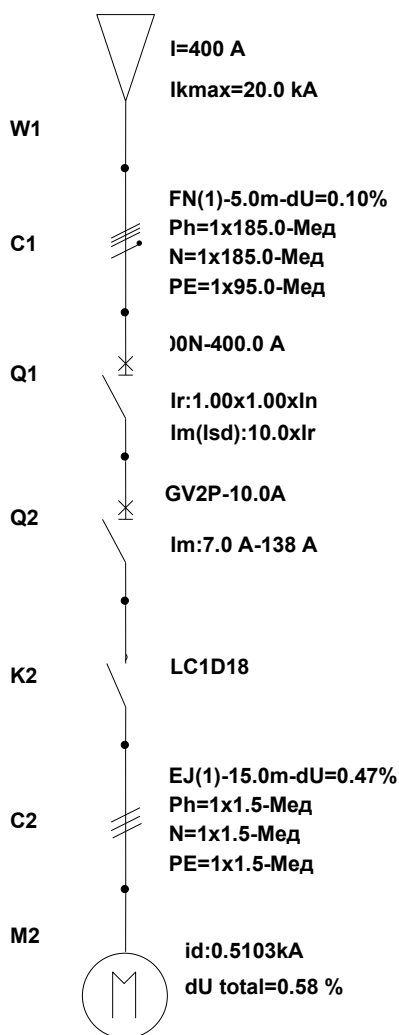
Като допълнение – извършен е и избор на електрически апарати за управление и защита на електродвигателя чрез специали-

зиран софтуер и е построена силовата верига на електродвигателя [6].

На фиг. 4 е представена схема на силовата верига.



Фиг. 3. Зависимост на изходящата мощност на ротора от ъгловата скорост



Фиг. 4. Схема на силовата верига

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Извършен е избор на електродвигател за задвижване на компресор при предварително зададени условия на работа и извършване на съответните проверки. Проверките на избрания електродвигател са съпроводени от аналитично получаване и графично построяване на конкретни характеристики.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Изпълнението на този доклад е благодарение на подкрепата на:

- Проект 2206С ‘Приложни математически изследвания в електроснабдяването и електрообзавеждането с фокус върху енергийната и икономическа ефективност’, финансиран от Министерството на образованието и науката на Република България.

- Проект BG05M2OP001-1.002-0023 Competence Center ‘Intelligent Mechatronic, Eco- and Energy-Saving Systems and Technologies’ financed by the Operational Program ‘Science and Education for Intelligent Growth’ of the European Regional Development Fund.

## REFERENCE

- [1] Завьялов Е. М., Выбор электропривода для компрессорных машин и установок, Омск, 1989 // Zavyalov E. M., Vibor elektroprivoda dlya kompresornih mashin I ustanovok, Omsk, 1989.
- [2] Ангелов А., Димитров Д., Електрически машини 1, София, Техника, 1976 // Angelov A., Dimitrov D., Electrichestki mashini 1, Sofia, Tehnika, 1976.
- [3] Рачев С., Д. Коева Д., Л. Димитров, Електрообзавеждане, Габрово, УИ „Васил Априлов”, 2018 // Rachev S., D. Koeva, L. Dimitrov, Elektroobzavezhane, Gabrovo, UI „Vasil Aprilov”, 2018.
- [4] Стоянов С., Ц. Цанев, Електрообзавеждане на производствени агрегати, София, Техника, 1990 // Stoyanov S., Ts. Tsanev, Elektroobzavezhane na proizvodstvenni agregati, Sofia, Tehnika, 1990.
- [5] Стоянов С., Ст. Пандуров, Справочник по енергетика, том 5, София, ABC Техника, 1998 // Stoyanov S., St. Pandurov, Spravochnik po energetika, tom 5, Sofia, ABC Tehnika, 1998.
- [6] <https://www.se.com/il/en/product-range/61013-ecodial-advance-calculation/#overview>. (29 Sept. 2022).