

УДК 621.327

О.В. Соломчак, канд. техн. наук,
І.В. Гладь, канд. техн. наук
 Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДУГОВИХ ГАЗОРОЗРЯДНИХ ЛАМП

Спірними є питання електрофізичних властивостей дугових газорозрядних ламп [1]. Для дослідження даного питання авторами було проведено експериментальні та теоретичні дослідження з використанням теорії електричних кіл з нелінійними елементами.

Теоретичні положення

Параметри дугових розрядних ламп залежать від напруги і струму, тому такі електричні елементи є нелінійними, для описування яких використовують вольт-амперні характеристики (ВАХ) [2,3]. Для нелінійних елементів є неприпустимим розрахунок параметрів через наступні співвідношення :

$$Q = \sqrt{(UI)^2 - P^2}, \quad (1)$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI}, \quad (2)$$

$$Z = \frac{U}{I}, \quad (3)$$

де U - напруга, В; I - струм, А; P - активна потужність, Вт; Q - реактивна потужність, Вар; Z - повний опір, Ом.

Очевидно, що і некоректним є визначення індуктивного опору дугової лампи та її індуктивності L , як статичної величини. А отже даний підхід не може бути використаний для ідентифікації активно-індуктивного характеру електричного елемента. Для цього доцільно дослідити енергетичні властивості ламп на основі зняття миттєвих значень напруги і струму.

У колах змінного струму миттєва потужність $p = ui$ на індуктивності коливається навколо нуля з подвійною частотою, а середнє значення за період рівне нулю [2,3]. На кожному періоді основної частоти реактивна енергія індуктивності переноситься у електричному колі чотирма пульсаціями електричної потужності з чергуванням прямого та протилежного напрямів дії. Протягом четверті періоду вона посилює магнітне поле в індуктивності L , але не перетворюється в інші види енергії, а протягом наступної чверті періоду повертається до джерела напруги [2,3]. Дана реактивна потужність спричинена зсувом фаз між струмом і напругою (рис.1).

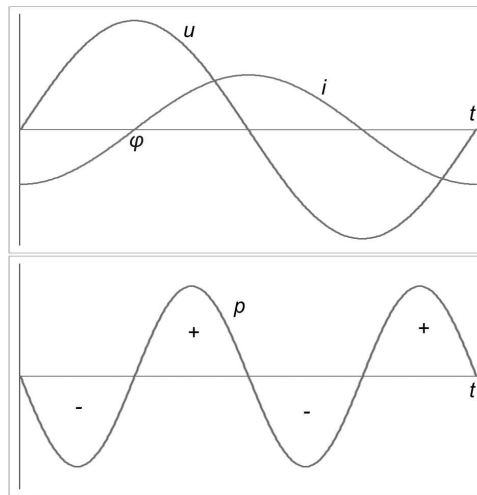


Рис.1 Криві напруги, струму і потужності для індуктивного елементу

Питанням розрахунку та ідентифікації реактивної потужності в колах з нелінійними елементами присвячено достатньо праць [4-8]. Як показано у [5] реактивна потужність є математичною, а не фізичною величиною. Так у [4,6-8] доведено, що у електричних колах з нелінійними елементами крім **реактивної потужності зсуву** виникає **реактивна потужність спотворення**.

Для таких кіл запропоновано наступні визначення та співвідношення:

$$S^2 = P^2 + D^2 = P^2 + Q^2 + T^2, \quad (4)$$

$$\text{де } P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt - \text{активна потужність}; \quad (5)$$

$$Q = U_1 I_1 \sin \varphi_1 - \text{реактивна потужність зсуву}; \quad (6)$$

$$T = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} - \text{реактивна потужність спотворення}; \quad (7)$$

$$D = \sqrt{Q^2 + T^2} - \text{реактивна потужність}; \quad (8)$$

U_k, I_k - напруга і струм k -ї гармоніки.

$$\cos \varphi_k = \cos(\psi_{ik} - \psi_{uk}). \quad (9)$$

де ψ_{ik}, ψ_{uk} - фази струму і напруги k -ї гармоніки.

Для обчислення цих величин застосовують розкладання в ряд Фур'є. Визначати зсув фаз між струмом і напругою можна тільки для періодичних сигналів однакової форми і частоти [2,3,4,8].

Проте навіть у колах з чисто активним елементом, але несинусоїдальним струмом має місце реактивна потужність зсуву. Так у схемі з послідовно ввімкненими тиристорним ключем і активним опором (рис.2.) має місце зсув фаз φ між напругою і струмом. Причому кут зсуву фаз рівний половині кута відкриття тиристора. Це виникає з чисто математичного розкладання несинусоїдального сигналу в ряд Фур'є. Хоча зрозуміло, що ніякої індуктивності в колі немає. Це видно і з графіку миттєвої потужності, оскільки відсутня зворотна віддача потужності джерелу. Отже, наявність зсуву фаз також не може бути критерієм індуктивності електричного елементу.

Критерієм для ідентифікації індуктивності є наявність обмінних процесів енергією між джерелом і елементом: пряма і зворотна передача потужності.

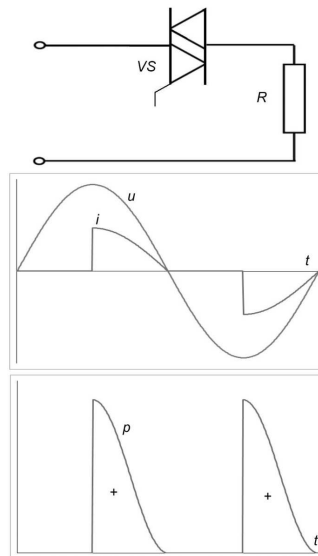


Рис.2 Криві напруги, струму і потужності для активного елемента з тиристорним ключем

Експериментальні дослідження

Для дослідження енергетичних процесів у дугових газорозрядних лампах, було знято осцилограми струму і напруги за допомогою цифрового осцилографа, а також обчислено графік миттєвої потужності дугової металогалоїдної лампи ДРИ-400 (рис.3) та дугової ртутної лампи ДРЛ-400 (рис.4).

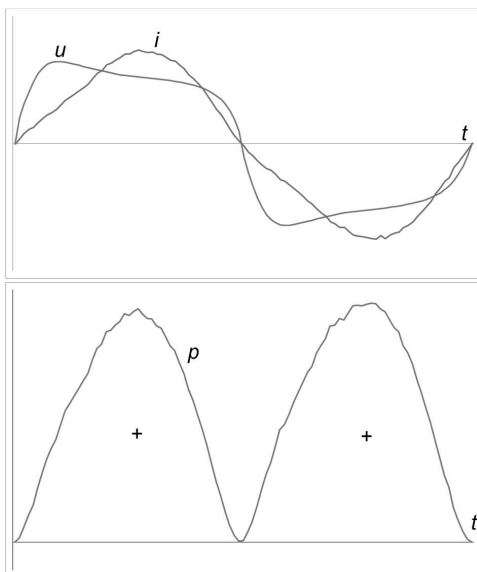


Рис.3 Криві напруги, струму і потужності для металогалоїдної лампи ДРИ-400

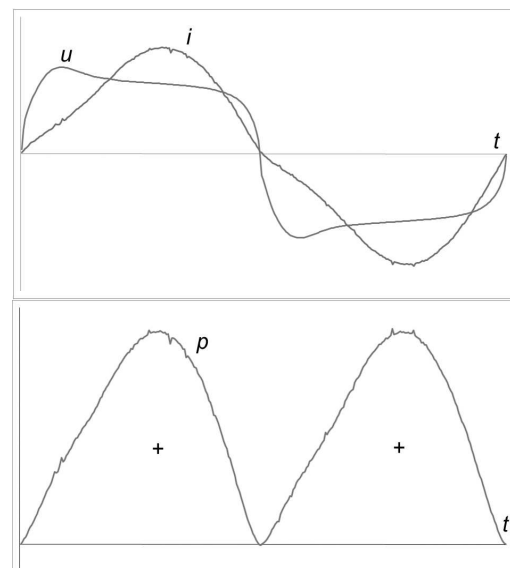


Рис.4 Криві напруги, струму і потужності для дугової ртутної лампи ДРЛ-400

Як видно з графіків струму і напруги (рис.3 та рис.4) зсув фаз між ними рівний нулю, оскільки і напруга і струм одночасно проходять через нуль, отже зсув фаз відсутній. У графіках миттєвої потужності присутня тільки додатна передача потужності від джерела до лампи, що характерно для чисто активних елементів і відсутній обмін потужності з джерелом.

Спектральний аналіз струму і напруги

З метою спектрального(частотного) аналізу, сигнали напруги і струму на лампі ДРЛ-400 було розкладено в ряд Фур'є (рис.5-8).

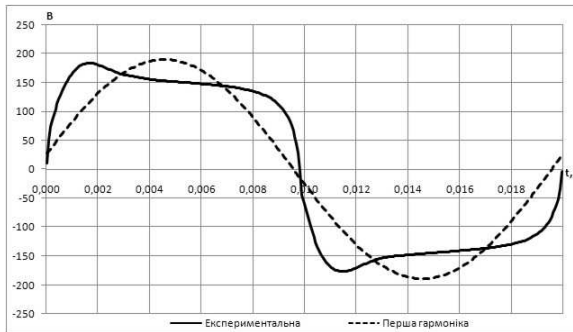


Рис.5 Крива напруги і перша гармоніка

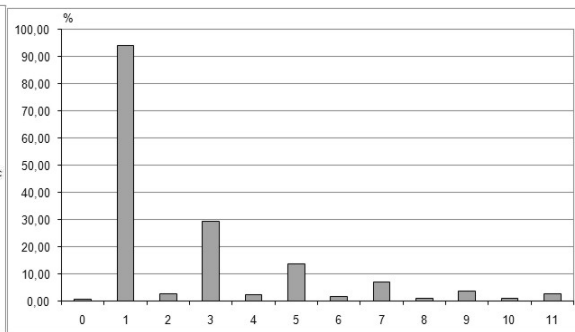


Рис.6 Спектральний склад напруги ДРЛ-400

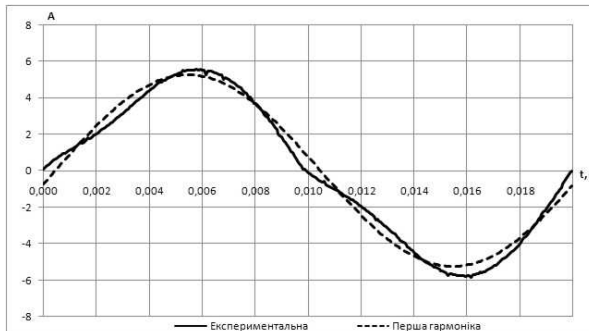


Рис.7 Крива струму і перша гармоніка

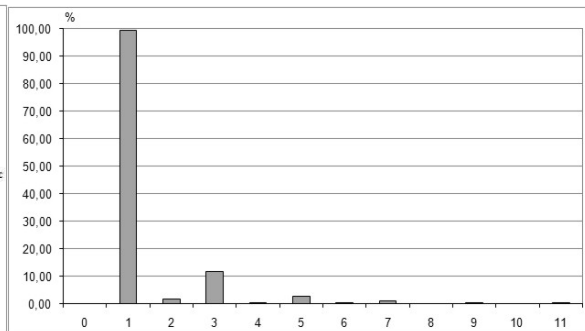


Рис.8 Спектральний склад струму ДРЛ-400

На рис.9 зображено перші гармоніки напруги і струму у відносних одиницях з яких видно наявність між ними зсуву фаз. Це свідчить про те, що дугові ртутні лампи мають обмінну реактивну потужність на першій гармоніці, яка виникає з математичного розкладання несинусоїдальних сигналів у ряд Фур'є і не спричинена фізичними властивостями дугових розрядних ламп, як було доведено вище.

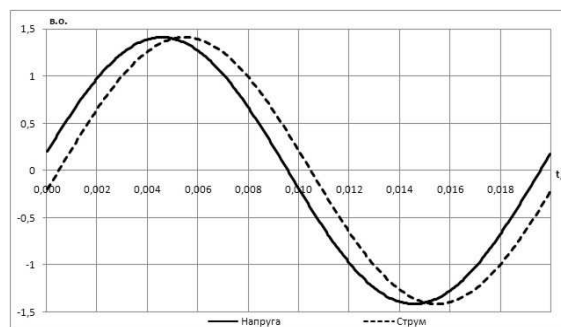


Рис.9 Перші гармоніки напруги і струму лампи ДРЛ-400

Використовуючи залежності (5)-(7) отримано наступні значення величин $U=142.6$ В, $I=3.748$ А, $S=534.46$ ВА, $P=476.05$ Вт, $Q=141.1$ ВАр, $T=197.5$ ВАр.

Як відомо, корисна (активна) потужність передається всіма гармоніками і постійною складовою струму [2,3]. Проте, з отриманих даних (табл.1) можна зробити висновок, що понад 99% корисної електроенергії передається основною гармонікою.

$$P = U_0 I_0 + \sum_{i=1}^n U_i I_i \cos \varphi_i \quad (10)$$

Таблиця 1

Розподіл активної потужності за гармоніками

Гармоніка	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Акт. потужність,	-0,15	479,05	-0,05	-3,02	0,005	0,27	0,006	-0,048	0,000	-0,010	0,002	0,007

Вт													
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Динамічні вольтамперні характеристики

Використовуючи результати вимірювань отримано динамічні вольт-амперні характеристики дугових ртутних ламп (рис.10). Як видно з рисунку, ВАХ має гістерезис, спричинений фізичними властивостями дугового розряду.

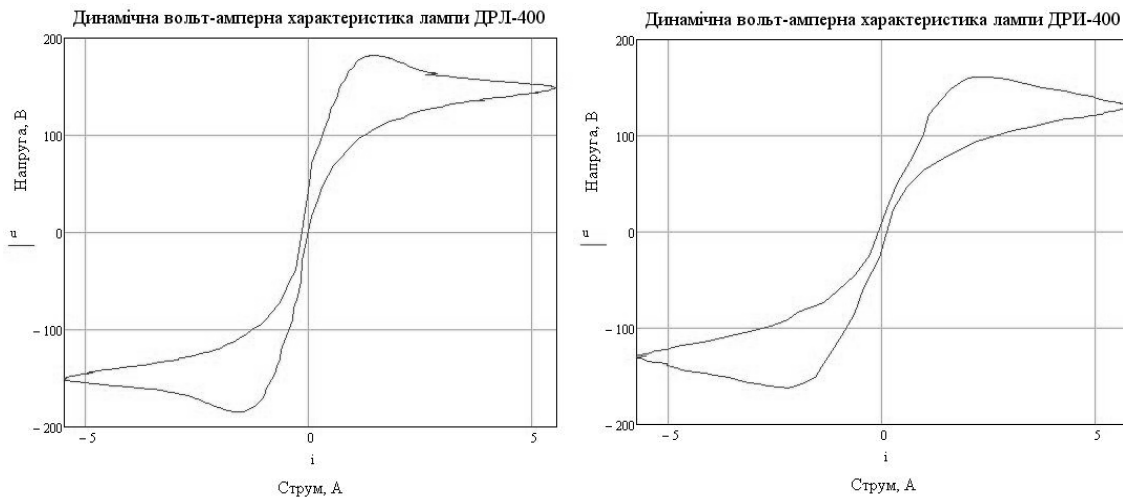


Рис.10 Динамічні ВАХ лампи ДРЛ-400 та ДРИ-400

Висновки

1. Дугові газорозрядні лампи є чисто активними нелінійними електричними елементами.
2. У дугових газорозрядних лампах відсутня індуктивність.
3. Нелінійний характер дугових газорозрядних ламп є причиною виникнення реактивної потужності спотворення та зсуву.
4. Форма кривої напруги на лампах є несинусоїдальною і містить всі непарні гармоніки до 11 включно. Форма кривої струму більше наближена до синусоїдальної, проте також містить непарні гармоніки до 5.
5. Динамічні вольт-амперні характеристики дугових ламп мають гістерезис.
6. Критерієм для ідентифікації індуктивності є наявність обмінних процесів енергією між джерелом і елементом: пряма і зворотна передача потужності.
7. Використання формул $\cos \varphi = \frac{P}{UI}$ та $Z = \frac{U}{I}$ для нелінійних елементів є неприпустимим.
8. Компенсувати реактивну потужність спотворення дугових газорозрядних ламп можна фільтрами вищих гармонік та електронними коректорами коефіцієнта потужності.

Література

1. Говоров Ф.П., Говоров В.Ф., Четверикова И.М., Терешин В.Н., Денисенко В.И. К вопросу о реактивной мощности в осветительных установках с разрядными лампами// Технічна електродинаміка. Тематичний випуск: «Проблеми сучасної електротехніки», частина 5.- 2008.- С.13-17.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Учебник для студентов энергетических и электротехнических вузов.- М.:Высшая школа, 1973.-752 с.
3. Нейман Л.Р., Демирчан К.С. Теоретические основы электротехники. Т. 1, 2. - Л.: Энергоиздат, 1981.-533 с.

4. Саенко Ю.Л. Реактивна потужність в системах електропостачання з нелінійними навантаженнями: Автореф. дис. ... докт.техн.наук / Приазовський державний технічний університет.- Маріуполь,2003.- 42 с.
5. Кизилов В.У., Светелик А.Д. О понятии «реактивная мощность». // Энергетика и электрификация.- 2005.- №2.- С.35-38.
6. Сегеда М.С. Электричні мережі та системи: Підручник.-Львів:Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2007.- 488 с.
7. Соломчак О.В., Гладь І.В. Проблемы розрахунку та компенсації реактивної потужності в мережах з несинусоїдним (нелінійним) навантаженням. // Энергетика и электрификация.- 2008.- У друці.
8. Fryze S. Active, Reactive and Apparent Power in Non-Sinusoidal Systems, Przegled Elektrotek. Polska-1931.- №7.- P.193-203.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДУГОВЫХ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП

О.В. Соломчак, И.В. Гладь

В статье отображены результаты исследований электрофизических характеристик дуговых разрядных ламп. Теоретически и экспериментально доказана нелинейность сопротивления таких ламп и её чисто активный характер. Доказано, что нелинейное активное сопротивление потребляет реактивную мощность. Показано, что критерием индуктивности может быть только наличие обменных процессов энергией между источником и элементом: прямая и обратная передача мощности.

RESEARCH OF ELECTRO-PHYSICAL PROPERTIES OF HIGH INTENSITY DISCHARGE LAMPS

J.V. Solomchak, I.V. Glad

The results of researches of electro-physical properties of high intensity discharge lamps are represented in the article. Non-linearity of resistance of such lamps and purely active type have been proved theoretically and experimentally. It has been also proved that nonlinear pure resistance causes the consumption of reactive-power. The author demonstrates that only a presence of exchange processes by energy between a source and element: direct and reverse transmission of power can serve as the criterion of inductance.