

УДК 681.51

Головко В.А., студент, керівник **Дубовик В.Г., Лебедєв Л.М.**

Національний технічний університет України "Київський політехнічний університет"
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту. 03056, м. Київ, вул. Борщагівська, 115/3

Вплив потужності спотворення на енергоефективність системи ПЧ-АД

Анотація

Стаття присвячена проблемі дослідження ефективності регульованих електроприводів. Досліджуються вплив окремих складових повної потужності. У роботі використано фізичне моделювання водовідливної установки з використанням перетворювача частоти.

Аннотация

Статья посвящена проблеме исследования эффективности регулируемых электроприводов. Исследуются влияние отдельных составляющих полной мощности. В работе использовано физическое моделирование водоотливной установки с использованием преобразователя частоты.

Annotation

The article is devoted the problem of research of efficiency of the managed electromechanics. Probed influence of separate constituents of complete power. The physical design of the pumping setting is in-process utilized with the use transformer of frequency.

Останнім часом спостерігається тенденція збільшення числа регульованих електроприводів. За нашими даними співвідношення між електроприводами малої та середньої потужності 1:9. Співвідношення потужностей регульованих електроприводів 1:3. Потужність яка споживається приводами малої потужності досягає 1/3 від потужності середньої. Таким чином це представляє інтерес енергоефективності регульованих електроприводів малої потужності.

Відомі формули визначення РП при несинусоїдних струмах і напругах часто суперечать один одному, а їх використання диктується рішенням будь-якого вузького кола завдань. При цьому для кожного кола завдань часто пропонується своє розуміння цих процесів, своя термінологія і своя декомпозиція параметрів, що описують ці процеси. Все це створює плутанину, що затрудняє як розробку нових систем вимірювання та керування, так і практику експлуатації енергосистем. Тому актуальною є задача створення логічно завершених методик визначення неактивної потужності та її складових - реактивної потужності та потужності спотворення, в однофазних і трифазних ланцюгах; додатних для використання в сучасних пристроях вимірювальної техніки і максимально наближено описують фізичні процеси в електричних ланцюгах при несинусоїдних струмах і напругах. Параметр званий "неактивна потужність" (НП) досить часто використовується в роботах, присвячених дослідженню обмінних процесів при несинусоїдних режимах, але він поки не закріпився в області теорії електротехніки. Застосування параметра "неактивна потужність", під яким розуміють "все крім активної", виправдано тим, що він враховує вплив не тільки реактивної потужності, але й потужності спотворення.

Посилення інтересу до розгляду питань, пов'язаних з не синусоїдальними мережами, зумовлений низкою об'єктивних причин. У першу чергу це пояснюється збільшенням частки вищих гармонійних складових у токах нелінійних навантажень. Збільшення числа і рівня вищих гармонійних складових струмів і напруг пов'язано з широким розповсюдженням електротехнічних і електромеханічних пристроїв, що є джерелами гармонік: статичних

перетворювачів, електродугових печей, зварювальних апаратів, регульованого приводу електромеханізмом, пристроїв з насичуючою магнітними елементами і т.д. Як наслідок - зростають втрати в лініях електропередач, збільшуються перешкоди в електрообладнанні, погіршується електромагнітна обстановка і якість електроенергії.

У нелінійних електротехнічних об'єктах процеси споживання електричної енергії характеризуються за допомогою повної, активної, реактивної потужностей та потужності спотворення, причому

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (1)$$

Потужність спотворення можна записати у вигляді суми ортогональних складових:

$$D = \sqrt{D_P^2 + D_Q^2} \quad (2)$$

які можна виразити через статичні параметри елементів.

В загальному випадку складові P, Q і D потрібно представити в вигляді єдиної системи рівнянь від двох змінних(двох параметрів) V і ϕ які описують модель енергетичного процесу:

$$\begin{cases} P = f_1(v, \phi), \\ Q = f_2(v, \phi), \\ D = f_3(v, \phi), \end{cases}$$

Де $f_1(v, \phi)$, $f_2(v, \phi)$, $f_3(v, \phi)$, неперервні диференційовані функції по обох аргументах в області визначення $D: v_{\min} \leq v \leq v_{\max}$; $\phi_{\min} \leq \phi \leq \phi_{\max}$ [3].

Несинусоїдальність струму характеризується коефіцієнтом гармонік THD:

$$THD = \frac{\sqrt{I^2(2) + I^2(3) + I^2(n)}}{I_1(1)} = \frac{I_{\Sigma}}{I_1(1)}$$

де $I(1) \dots I(n)$ - ефективні значення струму першої і т.д. гармонік,

I_{Σ} - ефективний струм всіх вищих гармонік

Для визначення енергетичних характеристик роботи електромеханічної системи була використана фізична модель водовідливної установки. На ній проведені дослідження режимів роботи при регулюванні за допомогою засувки і за допомогою зміни частоти обертання робочого колеса насоса, із застосуванням ПЧ. При цьому враховуються всі складові електричної потужності, споживаної установкою.

Функціональна схема водовідливної установки зображена на рис. 1

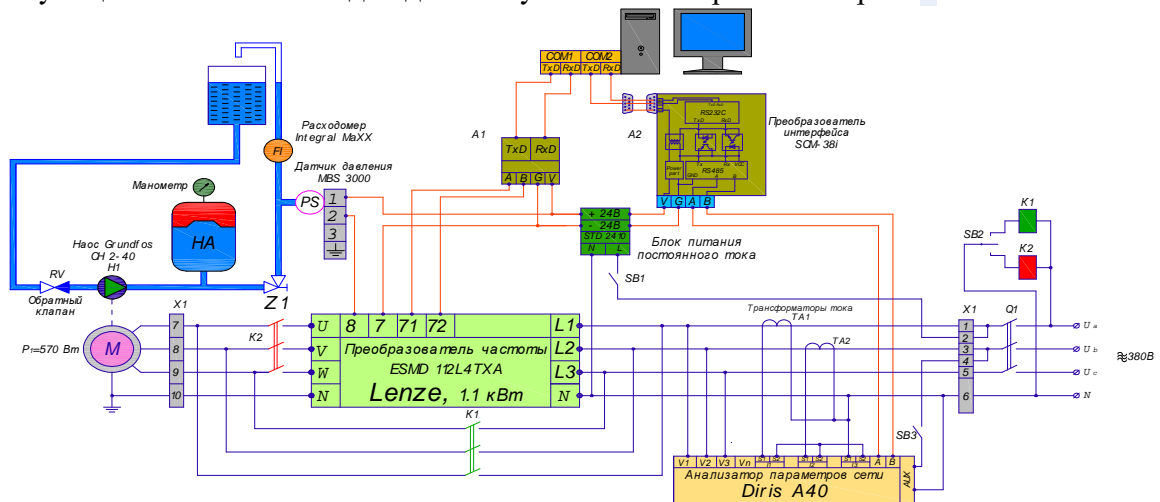


Рисунок 1. Схема водовідливної установки

Установка, структурна схема якої наведена на рис. 2, виконана на базі автоматизованої станції водопостачання з насосом Н1 фірми Grundfos. Автоматизація насосної станції здійснюється за допомогою перетворювача частоти UZ1 фірми Lenze з використанням датчика тиску, і її робота полягає в контролі і підтримці заданого тиску в напірному трубопроводі. Перетворювач частоти має вбудований ПІ-регулятор, на вхід якого подається внутрішній сигнал завдання і зворотний зв'язок по тиску, реалізована за допомогою датчика тиску фірми Danfoss марки MBS 3000. Датчик перетворює значення тиску в струмовий аналоговий сигнал 4-20 мА, який подається на клему перетворювача частоти для підключення зворотного зв'язку. Важливим вузлом станції водопостачання є мембранний бак (НА), в якому знаходиться рухома мембрана, з одного боку якої знаходиться повітря під тиском 4 бари. При включенні насоса, бак заповнюється водою до тих пір, поки не буде досягнуто заданий тиск, після чого насос зупиняється, а за допомогою мембранного бака в напірному трубопроводі підтримується необхідний тиск. При появі витрати, вода видавлюється з бака. При падінні тиску, нижче заданого, насос знову включається, і буде працювати, або на мережу, або на заповнення мембранного бака в залежності від того, в якому становищі знаходиться вентиль Z1.

В процесі дослідження були зняті:

- зовнішні характеристики насоса при номінальній частоті обертання $H = f(G)$, $\omega = const$, для цього підключали електродвигун насоса безпосередньо до мережі.
- енергетичні характеристики установки $P_1 = f(G)$, $\cos \phi = f(G)$ при підключенні двигуна насоса до перетворювача частоти
- характеристики $H = f(G) = const$, $\omega = var$

Результати експериментів представлено в таблиці:

№	Підключення АД насоса до мережі 380 В										
	G, м3/с	H, м	Q, об/хв	P1, Вт	Q1, Вар	S1, ВА	I, А	PF	THD _i , %	THD _u , %	
1	0	34,9	1480	320	450	530	0,81	0,57	5,25	1,2	
2	0,05	34,4	1480	320	450	540	0,8090	0,571	5,25	1,2	
3	0,1	33,8	1480	320	450	540	0,8120	0,582	5,15	1,2	
4	0,15	33	1480	340	450	540	0,8210	0,601	5,6	1,3	
5	0,2	32,4	1480	340	440	540	0,8230	0,603	5,2	1,2	
6	0,255	32	1480	340	440	550	0,8230	0,611	5,6	1,2	
7	0,307	29,2	1480	370	440	560	0,8430	0,638	5,15	1,2	
8	0,35	28,2	1480	370	440	560	0,8490	0,648	5,3	1,3	
9	0,4	27,3	1480	380	440	560	0,8550	0,651	5,05	1,2	
10	0,45	24,9	1480	380	430	560	0,8540	0,66	5,35	1,2	

Таблиця 1. Дані отримані в результаті вимірів вимірів

Підключення АД насоса від ПЧ									
Частота ПЧ, Гц	Q, об/хв	P1, Вт	Q1, Вар	S1, ВА	I, А	PF	THD _i , %	THD _u , %	
0	0	20	10	10	0,0380	0,999	185	1,25	
27,5	814	140	10	130	0,4750	0,999	19,5	1,25	
28,4	840,64	140	10	130	0,49	0,999	20,5	1,2	
29,4	870,24	130	10	140	0,5120	0,999	216,5	1,2	
30	888	160	0	150	0,5640	0,999	213,5	1,3	
32,1	930,16	170	0	160	0,5870	0,999	217,5	1,2	
33	976,8	190	0	170	0,63	0,999	213,5	1,2	
34,2	1012,32	190	0	180	0,6520	0,999	206,5	1,2	
35,5	1050,8	210	0	200	0,72	0,999	210	1,2	
36,6	1083,36	220	0	210	0,7350	0,999	202	1,1	

Таблиця 2. Дані отримані в результаті вимірів

Підключення АД насоса до мережі 380 В						
P1, Вт	cos φ	P2, Вт	КПД насоса	Повна потужність S, ВА	Неактивна потужність, Qн	Потужність викривлень D, Вар
320	0,57	227,2	0,00	534,6	428,25	138,21
320	0,571	227,2	0,07	533,94	427,42	140,74
320	0,582	227,2	0,15	535,92	429,90	133,00
340	0,601	241,4	0,20	541,86	421,91	156,49
340	0,603	241,4	0,26	543,18	423,61	118,98
340	0,611	241,4	0,33	543,18	423,61	118,98
370	0,638	262,7	0,34	556,38	415,52	144,71
370	0,648	262,7	0,37	560,34	420,81	128,53
380	0,651	269,8	0,40	564,3	417,17	139,88
380	0,66	269,8	0,41	563,64	416,28	107,75

Таблиця 3. Дані отримані в результаті розрахунків

Підключення АД насоса від ПЧ							Показники ефективності застосування ПЧ		
P1, Вт	cos φ, PF	P2, Вт	КПД насоса	Повна потужність S, ВА	Неактивна потужність, Qн	Потужність викривлень D, Вар	Знос енергії екстрак P, %	Знос енергії екстрак S, %	Потужність викривлень D, %
20	0,999	14,2	0,00	25,08	15,13	11,36	93,75%	95,31%	91,78%
140	0,999	99,4	0,05	313,5	280,50	280,33	56,25%	41,29%	-99,18%
140	0,999	99,4	0,09	323,4	291,53	291,35	56,25%	39,66%	-119,06%
150	0,999	106,5	0,14	337,92	302,80	302,64	55,88%	37,64%	-93,40%
160	0,999	113,6	0,18	372,24	336,10	336,10	52,94%	31,47%	-182,49%
170	0,999	120,7	0,21	387,42	348,13	348,13	50,00%	28,68%	-192,60%
190	0,999	134,9	0,22	415,8	369,85	369,85	48,65%	25,27%	-155,58%
190	0,999	134,9	0,26	430,32	386,10	386,10	48,65%	23,20%	-200,41%
210	0,999	149,1	0,26	475,2	426,28	426,28	44,74%	15,79%	-204,75%
220	0,999	156,2	0,28	485,1	432,34	432,34	42,11%	13,93%	-301,25%

Таблиця 4. Дані отримані в результаті розрахунків

На основі отриманих результатів досліджень можна переконатися що необхідно враховувати вплив потужності спотворення на енергетичні показники системи. Особливо це видно на графіку, який наглядно показує як змінюються гармонічні викривлення, коли АД безпосередньо підключено до мережі(нижня крива рис.1) і коли підключено від перетворювача частоти(верхня крива рис.1). Потужність спотворення THD_1 за струмом при безпосередньому підключенні до мережі не перевищує 5,6 %. Потужність спотворення майже не залежить від навантаження і змінюється в діапазоні 5,05-5,6 %.

Характер зміни THD_1 пояснюється зміною параметрів електродвигуна в залежності від навантаження. Реактивні параметри електродвигуна залежать від частоти. При зміні швидкості обертання вала насоса змінюється параметри двигуна, що відображаються на параметрах потужності спотворення. При мінімальній частоті значення мінімальне, при збільшенні частоти крива згладжується, в робочому діапазоні сильно не змінюється. Навантаження змінювалося в діапазоні від 0-0,45 м³/год. THD_1 мінімально не перевищувало 220 % і було не менше 185%.

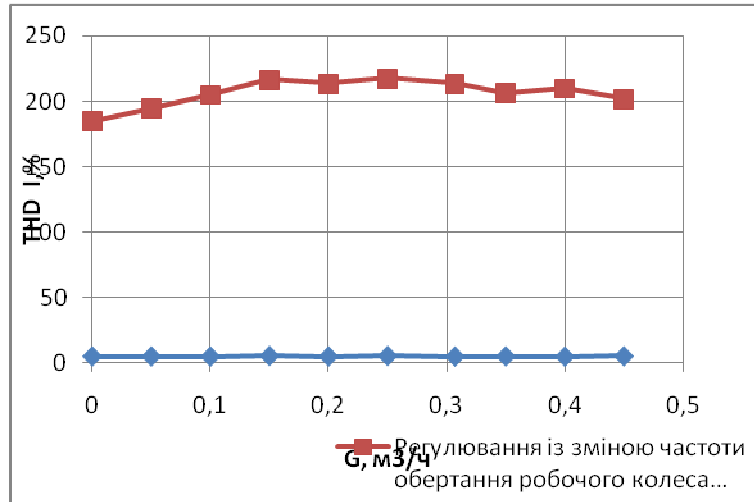


Рисунок 1. Сумарні гармонічні викривлення THD_I за струмом

Гармонічні викривлення THD_U за напругою майже не відрізняються при підключенні безпосередньо до мережі і підключенні від перетворювача частоти. THD_U за напругою чисельно не перевищує 1,3% і не менше 1,1%, з чого можна зробити висновок, що його графік майже монотонний і сильно не змінюється.

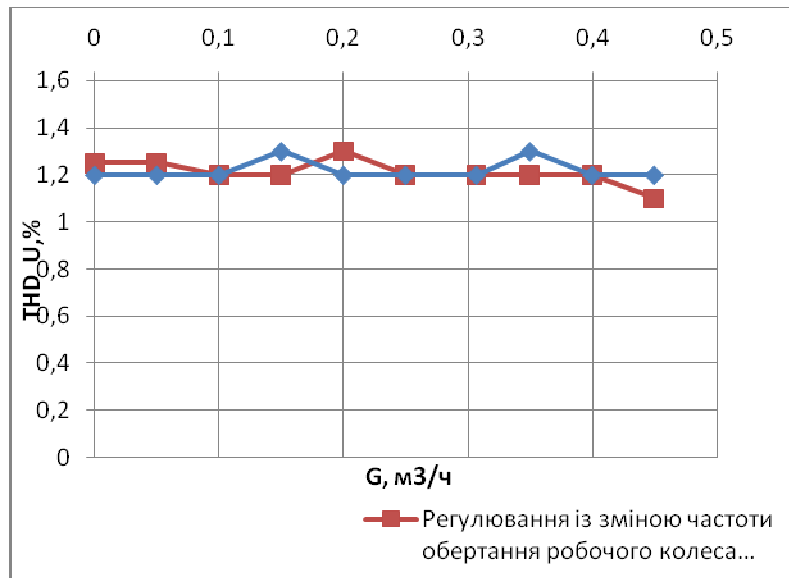


Рисунок 2. Сумарні гармонічні викривлення THD_U за напругою

Висновки

4. Безперервно зростає кількість електроприводів малої потужності і зростає сумарне споживання електроенергії цими приводами. Отже, в зв'язку з цим виникає необхідність враховувати енергетичні показники приводів малої потужності.

5. Гармонічні викривлення THD_U за напругою майже не залежить від навантаження електроприводу і не відрізняються при його живленні безпосередньо до мережі і підключенні від перетворювача частоти. Чисельно THD_U знаходиться в діапазоні 1,1-1,3%.

6. Характер зміни THD_I пояснюється зміною параметрів електродвигуна в залежності від навантаження. При мінімальній частоті значення THD_I мінімальне. При збільшенні частоти THD_I монотонно зростає, в робочому діапазоні практично не змінюється і чисельно не перевищувало 220 % і було не менше 165%.

7. З явищем потужності спотворень можна боротися за допомогою застосування фільтрів ЕМС, які згладжують криву струму і при цьому вона стає більш близька за формою до синусоїди. Загальні втрати потужності спотворення складаються із втрат в інверторі і в двигуні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

3. Сверкунов Ю. Д. Идентификация и контроль качества нелинейных элементов радиоэлектронных схем (спектральный метод). Ю. Д. Сверкунов – М.: Энергия, 1975. – 75 с.

4. Штамбергер Г. А. Измерения в цепях переменного тока (методы уравнивания) / Г. А. Штамбергер; Под ред. К. Б. Карандеева. – Новосибирск: Наука, 1972. – 164 с.

5. Горбачев М.Н. Эффективность геометрического моделирования периодических геометрических процессов в радиотехнических цепях и системах с переменными параметрами // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2007. – №2. – с.54-55