

Якість електроенергії та її вплив на електроспоживання і надійність роботи електроустаткування

Напруга. Відхилення напруги від номінального суттєво впливає на роботу електроприймачів. При зниженні напруги знижується крутильний момент електродвигунів, що приводить до їхнього перегріву, внаслідок чого відбувається прискорене зношування їхньої електроізоляції. Зниження напруги живлення електричних печей опору може суттєво сповільнювати технологічний процес або навіть унеможливити його проведення. Зниження напруги погіршує якість зварювання і знижує продуктивність зварювальних робіт. [Освітлювальні прилади](#) при зниженні напруги на 10% знижують освітленість: лампи розжарювання на 27%, люмінесцентних ламп – на 12,5%. При зниженні напруги на 20% і більше запалювання газорозрядних ламп стає неможливим. Якщо напруга живлення ламп розжарювання підвищується на 5%, термін їхньої служби знижується вдвічі. Поряд зі зменшенням терміну служби освітлювальних приладів, збільшення напруги понад його номінального значення приводить до нераціональної витрати [електроенергії](#), як це видно з табл. 2.2.1. і табл. 2.2.2.

Таблиця 2.2.1

Залежність відносного терміну служби ламп від перенапруги
Перенапруга U/Uном, %

Лампи	0	1	2	3	5	7	10
	Відносний термін служби, %						
Розжарювальна	100	87,1	75,8	66,2	50,5	38,7	7,8
Газорозрядні	100	95,0	93,0	90,0	85,0	80,0	73,0

Відхилення напруги від номінального значення в тій або іншій бік приводить до виходу устаткування з ладу. Причому для електродвигунів зниження напруги навіть більш небезпечно, ніж його підвищення. Зниження напруги живлення на 1% приводить до збільшення втрат в асинхронних двигунах на 0,1% (при 380 В) і на 0,5% у двигунів з номінальною напругою 6–10 кВ. При зниженні напруги більш, ніж на 5% від номінального, робота електродвигуна припустима лише тоді, коли його навантаження менше номінальної. У протилежному випадку можливий перегрів обмотки двигуна і її передчасне зношування. При зниженні напруги на 10% термін служби двигуна знижується більш ніж у два рази. Збільшення напруги живлення асинхронного двигуна на 1% приводить до збільшення споживаної реактивної потужності на 3%. Знижується коефіцієнт потужності, зростає повний електричний струм і, відповідно, ростуть активні втрати.

Таблиця 2.2.2

Залежність збільшення споживаної електроенергії від перенапруги

Збільшення Перенапруга U/Uном, %
споживаної
потужності 0
P/Pном, %, для ламп

0	1	2	3	5	7	10
---	---	---	---	---	---	----

Розжарюва ння	0	1,6	3,2	4,7	8,1	11,5	16,4
Люмінесце нтних	0	2,0	4,0	6,0	10,0	14,0	20,0
Ртутних	0	2,2	5,0	7,0	12,0	18,0	24,0

Згідно із ГОСТ 13109-97 нормально допустимі і гранично допустимі значення сталого відхилення напруги на вивідах приймачів електричної енергії, рівні, відповідно, ± 5 і $\pm 10\%$ від номінальної напруги електричної мережі за ГОСТ 721. Ці відхилення в точці приєднання споживачів електроенергії повинні бути вказані (встановлені) в договорах на електропостачання з урахуванням виконання норм стандарту. Для того, щоб зменшити відхилення напруги до допустимих значень, використовуються засоби, зазначені в п. 2.4.1.

Коливання напруги. При коливаннях напруги асинхронні двигуни змінюють швидкість обертання, нагрівальні елементи печей суттєво змінюють свою температуру та таке інше. Все це приводить до порушення технологічних процесів і браку продукції, виходу з ладу устаткування. Поштовхові коливання напруги викликають втрати енергії в мережах на 60–70% більше, ніж рівні їм за потужністю поштовхові навантаження [46]. Коливання напруги позначаються на роботі освітлювальних приладів, що є причиною зниження продуктивності праці та швидкої стомлюваності очей. Порушується нормальна робота радіо і телевізійного устаткування. Оцінити наслідки коливань напруги в грошовому відношенні досить важко.

Причиною коливання напруги є електроприймачі, в яких різко міняється навантаження, наприклад, при запалюванні дуг в дугових печах і зварювальних агрегатах, при частих пусках електродвигунів (ліфти, електропоїзди метро) та інше. Для зниження впливу різко змінних навантажень на напругу мережі застосовують наступні міри:

- обмежують пускові струми потужних двигунів;
- застосовують пристрої подовжньо-ємнісної компенсації;
- виділяють електроживлення великих електроприймачів з різко змінним навантаженням на самостійні лінії, що йдуть безпосередньо від джерела живлення (ТЕЦ, ГЗП та інше). Наприклад, дугові печі живлять від своєї трансформаторної підстанції;
- споживачів, чутливих до коливань напруги, наприклад, освітлювальні прилади, персональні комп'ютери та інше, живлять від окремих трансформаторів або виділяють на окремі лінії;
- застосовують автоматичне регулювання струму збудження потужних синхронних електродвигунів, що працюють у режимі перезбудження;
- використовують прилади плавного пуску асинхронних і синхронних двигунів.

Несинусоїдність напруги. Електроприймачі з нелінійними характеристиками, наприклад, тиристорні перетворювачі, дугові печі, електрозварювальне устаткування та інше є джерелом вищих гармонік. Люмінесцентні та ртутні лампи, широко застосовувані в промисловості, також є джерелом вищих гармонік.

Останнім часом багато організацій, які впроваджували електроприводи з живленням від ВРП, не приймаючи при цьому заходів щодо боротьби з погіршенням якості електроенергії (наприклад, за допомогою фільтрів вищих гармонік, див. п. 2.4.3), зіткнулися із проблемами передчасного виходу з ладу електроустаткування, збоїв у роботі електронного устаткування та інше.

Вищі гармоніки викликають додаткові втрати в електричних машинах, трансформаторах та електричних мережах. Істотно скорочується термін служби електроізоляції двигунів, конденсаторів, кабелів. Можуть виникати резонансні явища в батареях конденсаторів, що

приводить до збільшення їхніх втрат, підвищенню температури, прискоренню процесу старіння ізоляції, до виходу їх з ладу. Вищі гармоніки впливають на працездатність персональних комп'ютерів, систем автоматики та телемеханіки, що часто приводить до збоїв у їхній роботі.

Несинусоїдність напруги згідно із ГОСТ 13109-97 характеризується показниками «коефіцієнт спотворення синусоїдності напруги» і «коефіцієнт n -ої гармонічної складової напруги».

Нормально допустимі та гранично допустимі значення коефіцієнта спотворення синусоїдності напруги наведені в табл. 2.2.3.

Таблиця 2.2.3

Значення коефіцієнта спотворення синусоїдності напруги
Значення коефіцієнта спотворення несинусоїдності кривій напруги, %

нормально допустимі				гранично допустимі			
номінальна напруга мережі, кВ				номінальна напруга мережі, кВ			
0,38	6-20	35	110-330	0,38	6-20	35	110-330
8,0	5,0	4,0	2,0	12,0	8,0	6,0	3,0

Нормально допустимі значення коефіцієнта n -ої гармонічної складової фазної або міжфазної напруги в точках приєднання до електричних мереж із номінальною напругою $U_{ном}$ наведені в табл. 2.2.4.

Таблиця 2.2.4

Коефіцієнти n -ої гармонічної складової напруги
Коефіцієнт n -ої гармонічної складової напруги, %

Непарні гармоніки, некратні 3					Непарні гармоніки, кратні 3*					Парні гармоніки				
номінальна напруга мережі $U_{ном}$, кВ					номінальна напруга мережі $U_{ном}$, кВ					номінальна напруга мережі $U_{ном}$, кВ				
n	0,38	6-20	35	110	n	0,38	6-20	35	110	n	0,38	6-20	35	110
5	6,0	4,0	3,0	1,5	3	5,0	3,0	3,0	1,5	2	2,0	1,5	1,0	0,5
7	5,0	3,0	2,5	1,0	9	1,5	1,0	1,0	0,4	4	1,0	0,7	0,5	0,3
11	3,5	2,0	2,0	1,0	15	0,3	0,3	0,3	0,2	6	0,5	0,3	0,3	0,2
13	3,0	2,0	1,5	0,7	21	0,2	0,2	0,2	0,2	8	0,5	0,3	0,3	0,2
17	2,0	1,5	1,0	0,5	> 21	0,2	0,2	0,2	0,2	10	0,5	0,3	0,3	0,2
19	1,5	1,0	1,0	0,4						12	0,2	0,2	0,2	0,2
23	1,5	1,0	1,0	0,4						> 12	0,2	0,2	0,2	0,2

25	1,5	1,0	1,0	0,4
> 25	0,2+	0,2+	0,2+	0,2+
	1,3×	0,8×	0,6×	0,2×
	25/n	25/n	25/n	25/n

* Нормально допустимі значення, що наведені для n, які дорівнюють 3 та 9, відносяться до однофазних електричних мереж. У трифазних трипровідних електричних мережах ці значення приймають удвоє менше встановлених в табл. 2.2.4.

Несиметрія фазних напруг виникає, коли до однієї з фаз підключається потужний однофазний електроприймач (наприклад, індукційна тигельна піч). Крім того, несиметрія спостерігається при нерівномірному розподілі навантаження по фазах і при аварійних режимах (обрив навантаження або несиметричне коротке замикання).

При несиметрії напруг в 2% у електроустаткування скорочується термін служби [46]:

- у трансформаторів на 3,9%;
- у синхронних двигунів на 16,2%;
- у асинхронних двигунів на 10,8%;
- у батарей конденсаторів на 20–25%.

При несиметрії напруги в асинхронних двигунах з'являються напруги зворотної послідовності, що викликає протидіючий обертаючий момент, пропорційний квадрату коефіцієнта несиметрії напруги. Струм зворотної послідовності приводить до додаткового нагрівання ротора і статора, до зниження терміну служби устаткування через старіння ізоляції. При несиметрії напруги у 4% термін служби повністю завантажених асинхронних електродвигунів знижується у два рази. При 5% несиметрії потужність двигунів знижується на 5–10%.

Крім того, при несиметрії напруг знижується потужність багатофазних випрямлячів, конденсаторних батарей та інше. Це пов'язане з тим, що припустима потужність визначається найбільш завантаженою фазою. При несиметрії напруг в 2% зниження потужності становить [46]:

- 2,4% у асинхронних двигунів з Уном=6–10 кВ і потужністю вище 100 кВт;
- 1–4% у трансформаторів зв'язку з енергосистемою та у цехових трансформаторів (найбільше значення відноситься до трансформаторів зв'язку);
- 4,2% у синхронних двигунів потужністю більше 100 кВт.

При несиметрії напруг в 2% втрати електроенергії збільшуються на 1–4%. Для зниження несиметрії фазних напруг використовуються симетрувальні пристрої, що описані в п. 2.4.3.

Частота. При зміні частоти пропорційно змінюється потужність металорізальних верстатів, асинхронного електропривода різних механізмів та інше. Пропорційно третій степені частоти змінюється потужність вентиляторів, відцентрових насосів та інше.

Зниження частоти часто приводить до зниження продуктивності, а іноді і якості продукції, що випускається.

Коефіцієнт потужності (cosφ). Значення cosφ впливають на величину втрат активної потужності в електричних мережах і електроустаткуванні. Оптимальне значення cosφ, що відповідає мінімуму втрат активної потужності, дорівнює одиниці. Будь-яке відхилення cosφ від одиниці, як у мінус, так й у плюс, неминуче приводить до збільшення активних втрат.

Пов'язано це із тим, що зростає вектор повного струму, що дорівнює сумі активної і реактивної складових струму. Повний струм, протікаючи через електричні мережі й електроустаткування, викликає втрати активної енергії, що виділяється у вигляді тепла. Мінімальне значення повного струму, що дорівнює його активної складової, буде при $\cos\phi = 1$.

У цей час приріст споживання реактивної енергії, що приводить до зниження $\cos\phi$, перевищує приріст споживання активної енергії. Це пов'язано з тим, що бурхливо розвивається використання частотних перетворювачів, систем освітлення та реклами, комп'ютерної техніки та інше.

До основних споживачів реактивної енергії відносяться асинхронні електродвигуни (вони споживають близько 65% від всієї реактивної потужності), силові трансформатори (до 20%), індукційні печі й устаткування та ін.

Значення споживаної реактивної потужності буде тим вище, чим більше відмінність коефіцієнта потужності від одиниці. Підвищуючи $\cos\phi$, знижуємо значення реактивної потужності. Коефіцієнт потужності можна підвищувати або шляхом зміни природного значення $\cos\phi$, або шляхом компенсації реактивної потужності.

Підвищення природного значення $\cos\phi$ можна досягти:

- відключенням одного з паралельно працюючих недовантажених трансформаторів;
- приведенням у відповідність положення анцапф трансформатора з боку живлення напрузі живильної мережі. При установці анцапф на меншу напругу, $\cos\phi$ знижується;
- заміною недовантажених асинхронних двигунів на двигуни меншої потужності;
- перемиканням із трикутника на зірку при навантаженні асинхронного двигуна менш 35–40%;
- установкою обмежників холостого ходу двигунів при частих режимах х.х. й їхньою тривалістю більше 10 секунд;
- поліпшенням якості ремонту електродвигунів (обточування ротора неприпустиме, тому що збільшення зазору знижує коефіцієнт потужності);
- заміною асинхронних двигунів синхронними (там, де це можливо).

Підвищення $\cos\phi$ компенсацією реактивної потужності.

Компенсація реактивної потужності дозволяє:

- знизити втрати активної енергії в мережах і трансформаторах;
- знизити навантаження в кабельних лініях, тому що знижуються повні струми (за рахунок зниження реактивної складової струму). Тим самим, з'являється можливість підключити додатково корисне навантаження;
- уникнути глибокого осідання напруги у віддалених електроспоживачів;
- полегшити пуск двигуна (при місцевій компенсації);
- максимально використовувати потужність автономних джерел живлення.

Компенсатори реактивної потужності описані в п. 2.4.3.

