

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПРОВАЛІВ НАПРУГИ НА СИСТЕМУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

© Варецький Ю.О., Пукальський А.М., 2006

Розглянуто вплив провалів напруги на промислових споживачів електроенергії. Запропоновано модель для аналізу провалів напруги в системі електропостачання. На прикладі моделювання конкретної системи електропостачання отримано результати, які характеризують вплив провалів напруги на її споживачів.

This paper describes the impact of voltage sags (dips) on the industrial customers. A model to analyze the voltage sags in the power supply system was carried out. A case study is presented in this paper that includes simulation results that were used to characterize the influence of voltage sags on the customers.

Проблема. Зниження напруги в електричній мережі є негативним явищем, яке призводить до збільшення втрат електроенергії, зростання споживання реактивної потужності, зменшення продуктивності приймачів електроенергії. Тривале зниження напруги не є дуже небезпечним, оскільки сучасні пристрої регулювання дають змогу ефективно відновити рівень напруги до необхідного за потрібний проміжок часу і, отже, ліквідувати створені цим відхиленням негативні наслідки. Набагато небезпечнішим є різке зниження діючого значення напруги, що може негативно вплинути на роботу чутливих електроприймачів і спричинити помилки в їх функціонуванні, а інколи навіть і зупинення. Тому під час проектування й експлуатації електроустановок та електричних мереж необхідно звертати увагу на явище провалу напруги, яке є важливим для визначення рівня якості електропостачання споживачів, і може бути причиною значних економічних втрат і збитків у промисловому виробництві та комерції. Негативні наслідки провалів напруги змушують споживачів, електропостачальників і науковців звертати увагу на цю проблему. Тривалі дослідження, розрахунки та спостереження дали змогу зрозуміти суть проблеми і впливати на причини виникнення провалів напруги. В нашій країні явищам провалу напруги не приділено достатньої уваги, хоча проблема, безперечно, існує і потребує ретельнішого вивчення.

Зростання точності технологій виробництва, поширення використання в промисловості процесорів, комп'ютерів, сенсорів, керованих приводів, пристроїв робототехніки висуває проблему провалів напруги, як одну з найважливіших та першочергових для вирішення, і вимагає встановлення чітких і обґрунтованих показників якості щодо провалів напруги, розроблення відповідних методів їх розрахунку та засобів нормалізації. Вирішення цих питань дає змогу розмежувати вимоги до електропостачальних компаній, споживачів і виробників електротехнічних пристроїв.

Згідно з чинними нормами, провалом напруги називають короткочасне (від півперіоду до кількох десятків секунд) різке зменшення величини середньоквадратичного значення напруги більш ніж на 10 % від номінального в деякій точці електричної мережі, з подальшим її відновленням до попереднього або близького до нього значення. Для провалу напруги згідно з [1] використовують такі основні характеристики:

– глибина провалу, яку визначають за найменшим значенням напруги під час її провалу,

$$\delta U_{\Pi} = \frac{U_{\text{ном}} - U_{\text{мін}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%; \quad (1)$$

– амплітуда провалу, яка є відносним найменшим значенням напруги під час її провалу,

$$U_{\Pi} = \frac{U_{\min}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%; \quad (2)$$

– тривалість провалу, яку визначають як час від моменту зменшення напруги нижче від 90 % до моменту, коли під час відновлення вона стає більшою від цього значення,

$$\Delta t_{\Pi} = t_{\Pi} - t_{\text{к}}; \quad (3)$$

– інтенсивність провалів, яку визначають щодо сумарної кількості провалів напруги M для визначеної кількості провалів m з глибиною δU_{Π} і тривалістю Δt_{Π} за період T ,

$$F_{\Pi} = \frac{m (\delta U_{\Pi}, \Delta t_{\Pi})}{M} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Основні характеристики провалу напруги відображено на рис. 1.

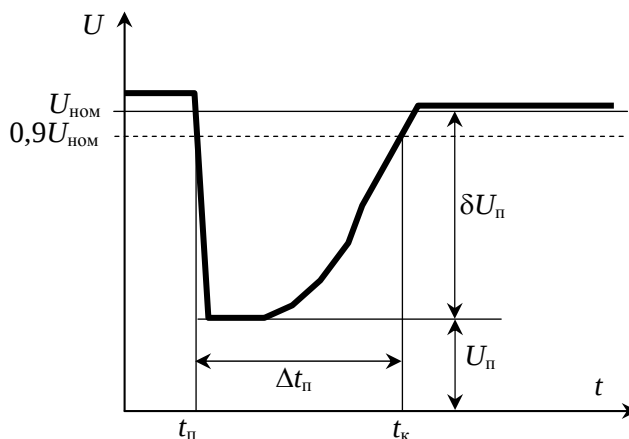


Рис. 1. Зміна напруги під час провалу

Під час провалу напруги необхідна енергія не подається до електроприймача і наслідки цього можуть бути досить неприємними залежно від призначення та характеру цього електроприймача. Провали напруги негативно впливають на роботу під'єднаних до мережі електроприймачів, які можуть мати різні рівні чутливості до них. Якщо амплітуда напруги під час провалу є нижчою від деякого критичного для певного електроприймача значення, то це, як правило, спричиняє порушення умов його нормального функціонування. Так, зменшення напруги на величину 25 % від $U_{\text{ном}}$ протягом 0,1 с сприймається зором як блимання світла, однак, такий провал напруги може зумовити ланцюгову реакцію помилок і порушень в роботі виробничого обладнання, а часто і його зупинення, що може призвести до значних матеріальних втрат внаслідок браку виготовленої продукції, зупинень виробництва, зниження продуктивності, заміни пошкодженого обладнання та додаткових втрат під час відновлення виробництва. Провали напруги незначно впливають на роботу ламп розжарювання, але можуть спричинити порушення роботи електричних двигунів та електронних пристроїв. Особливо чутливими до провалів є пристрої автоматики, системи захисту, контролери параметрів та мікропроцесори.

Аналіз останніх досліджень. Чутливість електрообладнання до провалів напруги. Провали напруги у вузлах навантаження можуть спричинити порушення стійкості роботи асинхронних та синхронних двигунів. Зокрема під час тривалих провалів напруги тривалістю декілька секунд, коли зниження напруги є значним, можливе “перекидання” (гальмування) асинхронних двигунів, а для синхронних двигунів можливе випадання із синхронізму.

Електромагнітний момент, який розвиває асинхронний двигун, залежить від квадрата, напруги на його затискачах. Усталений режим роботи двигуна характеризується балансом між електромагнітним моментом двигуна $M_{\text{ел}}$ та моментом опору навантаження $M_{\text{мех}}$. Останній,

залежно від типу виробничих механізмів, має різні залежності від швидкості обертання. Розрізняють три основні типи механічних характеристик промислових механізмів, зовнішній вигляд яких залежить від сил опору руху [3]. Для характеристики першого типу момент опору механізму не залежить від швидкості ($M_{\text{мех}} = \text{const}$). Таку особливість мають сили гравітації, сили пружної деформації. Характеристики другого типу мають відцентрові вентилятори, компресори. Момент навантаження в цьому випадку пропорційний до квадрата швидкості, а сама характеристика називається вентиляторною. Характеристика третього типу має обернено пропорційну залежність моменту опору від швидкості й властива для механізмів головного руху токарних, фрезерних, сверлильних верстатів, намотувальних і розмотувальних пристроїв прокатних станів.

З виникненням провалу напруги різко знижується електромагнітний момент асинхронного двигуна внаслідок зниження діючого значення прикладеної напруги. У результаті, момент двигуна стає меншим від моменту опору механізму навантаження і ротор починає гальмуватися. Це викликає збільшення ковзання, що є причиною ще більшого зниження моменту двигуна. Якщо тривалість провалу напруги перевищує час, за якого ковзання зростає до значень, більших від критичного ковзання, то після вимкнення к.з. це може спричинити повне гальмування ротора. Тому провали напруги негативно впливають не тільки на системи керування, але й на самі двигуни, будучи причиною порушень їх нормальної роботи і навіть повного зупинення. Двигуни, як правило, на короткочасні провали напруги практично не реагують. Проте тривалі провали можуть нести в собі чималу небезпеку і за певних умов спричиняти порушення стійкості роботи двигунів.

Провали напруги також впливають на зменшення електромагнітного моменту синхронних двигунів, оскільки він прямопропорційно залежить від напруги на затискачах двигуна. Внаслідок цього відбувається зменшення швидкості обертання ротора і починається його гальмування, що може призвести до випадання з синхронізму синхронного двигуна. Однак для таких двигунів значний вплив на величину електромагнітного моменту має величина струму збудження.

Провали напруги можуть призвести до втрати даних в пристроях оброблення інформації, що дуже знижує їх загальну ефективність. Саме широке використання комп'ютерної техніки внаслідок її великої чутливості і загострило проблему провалів напруги, оскільки навіть дуже короткочасні зниження її діючого значення можуть викликати помилки у роботі пристроїв оброблення та зберігання даних. Крім цього втрата важливих даних може також вплинути на перебіг виробничого процесу. Це стосується програмних контролерів, оскільки дуже часто великі й відповідальні технологічні процеси контролюються такими пристроями. Чутливість різних пристроїв оброблення інформації є різною, проте, як правило, високою, зокрема і до короткотривалих провалів напруги.

Дуже чутливими до провалів напруги є різноманітні сенсори та давачі, які можуть хибно спрацювати під час провалу і зумовити порушення чи навіть зупинення в роботі пристроїв, для яких вони призначені.

Провали напруги несуть також небезпеку для електромагнітних реле та контакторів і можуть бути причиною вимкнення контрольованого кола у той час, коли всі інші елементи кола стійко його переносять. Чутливість реле та контакторів до провалів напруги може бути визначальною тоді, коли всі інші елементи технологічної системи мають нижчу чутливість до провалів напруги, що може спричинити порушення в роботі систем живлення чи керування процесами.

Люмінесцентні лампи також деякою мірою є чутливими до провалів напруги, оскільки розігрій лампі необхідне більше значення стартового розряду, ніж холодній, тому лампа, яка згасла, внаслідок провалу напруги повторно може і не ввімкнутися.

Різне обладнання має різну чутливість до провалів напруги, проте напевно можна стверджувати, що багато споживачів, і в деяких випадках дуже відповідальних, насичено різноманітними, чутливими до провалів напруги пристроями, що, як свідчить досвід, робить проблему провалів напруги однією з основних в завданні забезпечення якості електроенергії.

Причини виникнення провалів напруги. Провали напруги, як будь-які зниження напруги, виникають внаслідок одного з двох явищ в електричних мережах – швидкого зростання струму в певній її частині чи раптового збільшення імпедансу системи. Тому основними причинами

виникнення провалів напруги є короткі замикання, ввімкнення потужного навантаження, а також помилки в роботі засобів регулювання напруги.

Коротке замикання зумовлює різке та значне за величиною зростання струму в електричній мережі, а також спричиняє збільшення імпедансу системи після його ліквідації внаслідок вимкнення окремих елементів (ліній, трансформаторів), що в результаті спричиняє зниження напруги. Глибина провалу залежить від природи к.з. (металічне чи дугове), його віддаленості, конфігурації мережі, відносної величини імпедансу на проблемній ділянці, величини навантаження, місця вимкнення вимикача, і, отже, визначає потенційну небезпеку впливу на чутливий виробничий процес.

Провали напруги виникають також на затискачах споживачів під час к.з. на живильних повітряних лініях, коли к.з. є нестійким і лінія після вимкнення вмикається роботою пристроїв автоматичного повторного ввімкнення (АПВ), а також під час коротких замикань із вимкненням лінії основного живлення та спрацюванням автоматичного ввімкнення резерву (АВР).

Глибина провалу знижується з віддаленням від точки к.з. і наближенням до джерел живлення. Однак не можна говорити, що з віддаленням від точки к.з. глибина провалу поширюється пропорційно до відстані, оскільки багато мереж мають складнозамкнений характер.

Тривалість провалу напруги залежить від часу спрацювання пристроїв релейного захисту та автоматики. Однак, якщо пошкодження відбулося на повітряній лінії, яка живить певних споживачів, то після її вимкнення захистом повинно здійснюватись АПВ. Тому від моменту вимкнення к.з. до моменту спрацювання АПВ провал напруги на затискачах даних споживачів продовжується і здебільшого має важчі наслідки, ніж під час к.з. (амплітуда провалу напруги за час витримки АПВ, подібно як АВР, дорівнює нулю). Проте відсутність таких пристроїв призводила б до втрати живлення зі ще важчими наслідками. Тому використання пристроїв АПВ та АВР є необхідним для забезпечення безперервності електропостачання, хоча може і погіршувати ситуацію з огляду на провали напруги. Багато енергопостачальних компаній згідно з угодами про зменшення кількості та тривалості втрат живлення активно впроваджують пристрої АПВ в мережі, але разом з цим збільшується кількість та погіршуються показники провалів напруги, тобто зниження сумарного статистичного часу перерв подавання електроенергії здійснюється за рахунок її якості [4–6]. Тому, робота пристроїв АПВ та АВР потрібно налагоджувати з врахуванням явищ провалів напруги та їх наслідків.

Знаючи природу та основні причини провалів напруги, можна стверджувати, що імовірність виникнення провалу напруги на затискачах споживача є значно вищою, ніж втрата живлення, оскільки після вимкнення к.з. без живлення залишаться лише споживачі за вимикачем фідера, на якому сталося пошкодження, а під час к.з. провал напруги відчувають усі споживачі мережі. Вказана властивість є характерною для будь-якої електричної мережі, і тому вона тільки підтверджує необхідність вирішення проблеми провалів напруги в мережах всіх класів напруг.

Нормування провалів напруги. У загальному випадку обладнання може без порушень роботи переносити глибокі, але нетривалі провали напруги, або довгі з незначним зниженням напруги. Проте така тенденція зберігається не завжди, оскільки різні типи обладнання мають не однакову стійкість до провалів напруги різної глибини та тривалості. Внаслідок спостережень і досліджень для різних типів електричного обладнання встановлено відповідні значення амплітуди й тривалості провалів, за яких виникають порушення його роботи або воно взагалі перестає працювати. Низка міжнародних норм стандартизують ці значення для окремих видів обладнання, наприклад, для напівпровідникової продукції, процесорів, і на цій основі опрацьовано залежності гранично-допустимих характеристик провалів напруги, які зображають у вигляді відповідних кривих та графіків [2]. До таких стандартів належать СВЕМА, ІПІТС, SEMI F47, EPRI DPQ. Цих стандартів повинні дотримуватись виробники електротехнічних та електронних пристроїв для забезпечення відповідного рівня їх стійкості до найпоширеніших за своїми характеристиками провалів напруги, причому на обладнанні потрібно вказувати, згідно з яким стандартом стійкості воно виготовлене та випробуване.

У нашій країні проблемі провалів напруги нині приділяється недостатньо уваги, хоча їх негативні наслідки зростають і за таких умов будуть надалі зростати. Чинним стандартом з якості електроенергії

нормується лише тривалість, хоча як додаткові показники визначається глибина та інтенсивність провалу напруги. Тому необхідно інтенсифікувати роботу з впровадження нових стандартів на основі досвіду опрацювання міжнародних норм з врахуванням власних особливостей.

Завдання дослідження. Пропоновану статтю присвячено дослідженню чутливості електроприймачів до провалів напруги в електричній мережі. За спрощеними оцінками неможливо встановити допустимі характеристики провалів напруги, оскільки провали напруги по-різному впливають на різних електроприймачів. У цьому аспекті авторами поставлено завдання опрацювати підхід, який дозволяє адекватно оцінювати критичні характеристики провалів напруги в електричній мережі та здійснювати вибір відповідних засобів їх нормалізації.

Опис об'єкта дослідження. Об'єктом дослідження є система електропостачання одного з промислових підприємств міста Львова, яка має типові характеристики силового обладнання і системи РЗА. Схему мережі електропостачання показано на рис. 2. Електропостачання підприємства здійснюється від мережі 6кВ ВЛТ “Львівобленерго” через мережу 0,4 кВ до виробничих об'єктів від комплектної трансформаторної підстанції КТП-654, яка знаходиться на балансі промислового підприємства. Розрахункова потужність підприємства становить 465,44 кВт.

Основне живлення здійснюється по кабельних лініях 6кВ від підстанції ПС-ЛЗ 110/6кВ до трансформаторної підстанції ТП-417 та від ТП-417 до КТП-654. Резервне живлення заводу – по кабельних лініях 6кВ від розподільчої підстанції РП-37.

До високовольтної двотрансформаторної підстанції ПС-ЛЗ 110/6 кВ підходить двоколова повітряна лінія 110 кВ Л2-ЛТЕЦ-1. Від трансформаторної підстанції 6кВ ТП-417 живляться ТП-212, ТП-300, КТП-654, а також комунальні споживачі на напрузі 0,4 кВ. Під час резервного електропостачання ТП-417 живиться від РП-37 через трансформаторну підстанцію ТП-994. Отже, підприємство може отримувати живлення двома різними способами – від понижувальної підстанції 110/6 кВ або від розподільної підстанції 6кВ, що може по-різному впливати на характеристики та інтенсивність провалів напруги. До основних споживачів електроенергії підприємства належать електропривід технологічного обладнання (металорізальних та фрезерувальних верстатів, пресів) з короткозамкнутими асинхронними двигунами, електронагрівальні печі, електропривід компресора та світильники штучного освітлення. Всі споживачі заводу отримують живлення на напрузі 0,4 кВ від КТП-654 по дев'яти кабелях, причому один з фідерів знаходиться в резерві. Компенсація реактивної потужності здійснюється за допомогою конденсаторної батареї 150 кВар на стороні низької напруги КТП-654. Значна частка двигунів у сумарному навантаженні (близько 70 %), причому деякі з них є приводами агрегатів відповідальних технологічних процесів, спричиняє необхідність дослідження їх стійкості до провалів напруги та можливості збереження цілісності виробничого процесу під час їх виникнення.

Опис моделі. Розрахунки здійснювали за допомогою пакета моделювання та розрахунку електротехнічних систем *Simulink Power System* програмного комплексу *MATLAB 7.0*. Перевагою цього комплексу є можливість створення ефективних і високоадекватних засобів моделювання різних пристроїв та систем. Зокрема пакет *Simulink* спеціально призначений для моделювання динамічних систем, моделі яких складаються з окремих блоків (компонентів). У ньому реалізовані принципи візуально-орієнтованого програмування, що дає змогу легко набирати потрібні блоки і конструювати потрібні моделі системи чи пристрою. Рівняння стану, які описують роботу моделі систем чи пристроїв, формують автоматично, забезпечуючи можливість аналізу як окремих електричних кіл, так і електроприводів різного типу, а також моделювання складних фізичних і електромагнітних процесів у електроенергетичних системах великої потужності. У дослідженнях можна використати різноманітні методи аналізу усталеного режиму роботи, частотного і спектрального аналізу, а також моделювання перехідних процесів у часовій області.

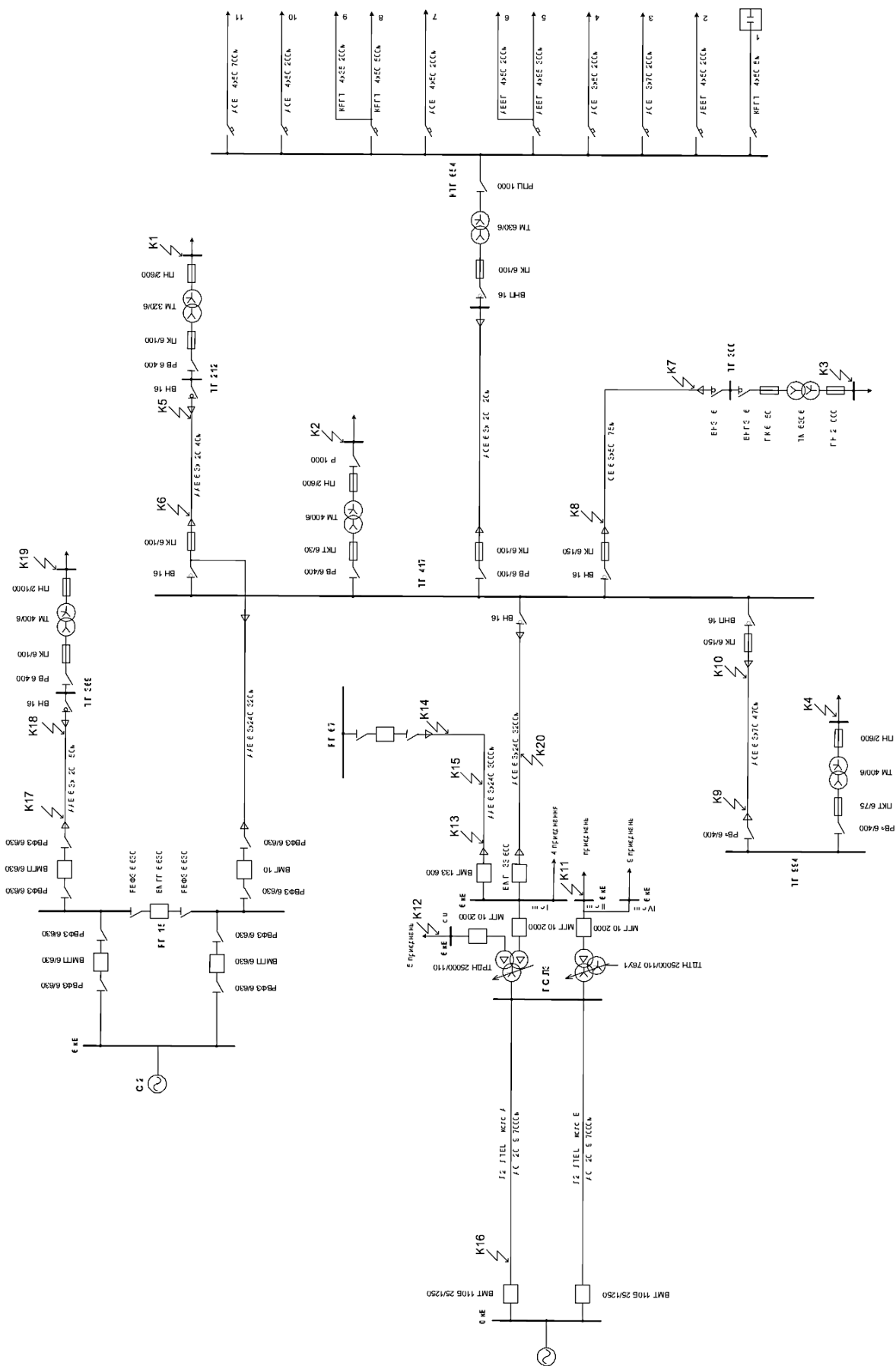


Рис. 2. Схема досліджуваної системи електропостачання

Для здійснення розрахунку провалів напруги і виявлення їх впливу на обладнання системи електроспоживання авторами використано таку вхідну інформацію: дані про схеми та клас напруги електричних мереж зовнішнього та внутрішнього живлення підприємства, сумарну потужність навантаження, склад і структуру приймачів; сумарні навантаження однотипних приймачів, з виділенням чутливих до провалів напруги; дані про встановлені в мережі засоби захисту й автоматики, а також параметри їх спрацювання.

Для моделювання роботи динамічного навантаження, у складі якого є асинхронні двигуни, використано такий підхід. Навантаження асинхронних двигунів електроприводів компресорів, яке має вентиляторну характеристику залежності моменту навантаження від швидкості, змодельовано залежністю $M_{MEH} = f(\omega^2)$ (крива другого типу), навантаження асинхронних двигунів токарних та фрезерувальних верстатів, яке має металорізальну характеристику навантаження, змодельовано залежністю $M_{MEH} = f(1/\omega)$ (крива третього типу), а навантаження асинхронних двигунів приводів пресів, яке працює з постійним моментом навантаження, змодельовано залежністю $M_{MEH} = \text{const}$.

Оцінювання допустимості провалів напруги здійснено з умови збереження стійкості роботи асинхронних двигунів вузла навантаження з можливістю забезпечення їх самозапуску. Тому допустимість провалів напруги внаслідок розрахунків визначалась за характером електромагнітного процесу, який контролювався за часовими залежностями електромагнітного моменту та швидкості обертання асинхронних двигунів. Якщо внаслідок провалу напруги, спричиненого коротким замиканням чи пуском потужного навантаження, відбувається повне гальмування двигуна без подальшого самозапуску, то такий провал напруги є недопустимим.

Результати досліджень. Внаслідок досліджень показано, що короткі замикання на суміжних фідерах, які відходять від підстанції ТП-417, не спричиняють небезпечних провалів напруги внаслідок незначної тривалості коротких замикань, які ліквідуються запобіжниками. Пошкодження за трансформаторами в кінці цих фідерів взагалі не викликають провалів напруги. За коротких замикань, які виникають на кабельних лініях, що відходять від підстанції ПС-ЛЗ, недопустимі провали напруги виникають лише при пошкодженнях на лініях тієї ж системи шин, до якої приєднано лінію живлення підстанції заводу, внаслідок малого значення взаємного опору між точкою короткого замикання та точкою розділення струмів к.з. та навантаження. Небезпечними будуть провали для двигунів приводу верстатів та пресів при трифазних к.з. тривалістю більше однієї секунди на початку ліній. Для приводу компресора допустимими будуть провали при будь-яких коротких замиканнях в околі підстанції ПС-ЛЗ тривалістю принаймні до двох секунд.

Для прикладу здійснимо порівняльний аналіз провалів напруги під час трифазних к.з. тривалістю 2 с на лінії ПС-ЛЗ→РП-67 у точках К13 і К15. Під час трифазних к.з. у точці К13 виникають глибокі провали напруги, коли діюче значення напруги падає практично до нуля, оскільки значення імпедансу між точкою к.з. та точкою розділення є мінімальним. Електромагнітний момент асинхронного двигуна компресора зменшується до нульового значення, а тому стає меншим від моменту навантаження і двигун починає гальмуватися (рис. 3, а).

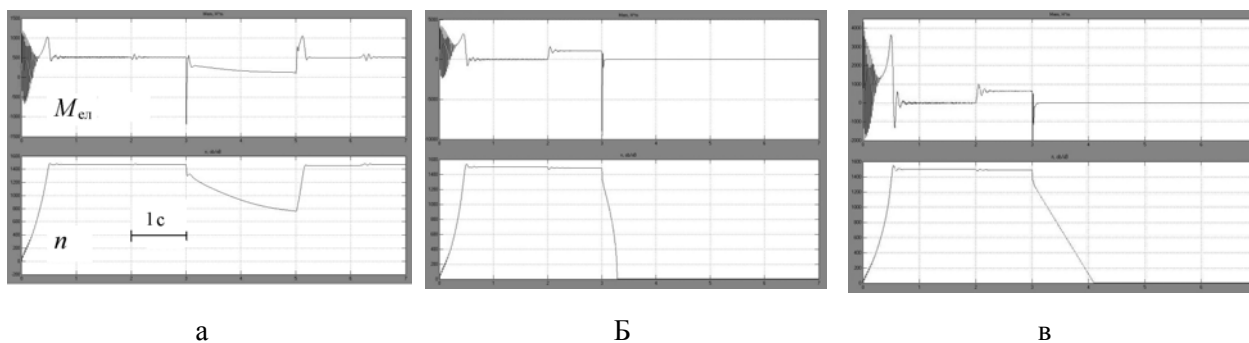


Рис. 3. Електромагнітний момент M_{el} і частота обертання n асинхронних двигунів під час провалу напруги, спричиненого трифазним к.з. тривалістю 2,0 с в точці К13:

а – електропривід компресора; б – електропривід верстата; в – електропривід преса

Момент опору робочих механізмів з вентиляторною характеристикою, яким є компресор, зі зменшенням швидкості обертання зменшується, тому після вимкнення к.з., коли ще ротор двигуна продовжує обертатися, напруга на затискачах асинхронного двигуна компресора зростає і відповідно збільшується електромагнітний момент, який забезпечує самозапуск. Електромагнітний момент асинхронних двигунів приводу верстатів швидко зменшується до нуля і внаслідок різкого зростання моменту опору зі зменшенням частоти обертання (металорізальна характеристика навантаження) двигуни починають гальмуватися (рис. 3, б). Подібну картину спостерігаємо і для асинхронних двигунів приводу пресів (постійне значення моменту опору), оскільки їх електромагнітний момент при такому к.з. теж не в стані забезпечити самозапуску (рис. 3, в). Це означає, що такі провали напруги є недопустими.

Під час трифазних к.з. у середині цієї лінії (точка К15) виникає провал напруги на шинах досліджуваного споживача з амплітудою $УП = 31,9 \%$, яка є вищою, ніж при к.з. на початку лінії (точка К13) – $УП \approx 0 \%$ та нижчою, ніж під час к.з. в кінці лінії (точка К14) – $УП = 65,2 \%$. Це пояснюється тим, що з віддаленням місця к.з. зростає опір між точкою к.з. та точкою розділення струмів к.з. і навантаження (система шин ПС-ЛЗ), а тому більшим стає значення залишкової напруги в точці розділення. Внаслідок виникнення провалу напруги, спричиненого к.з. у точці К15 починається гальмування двигунів навантаження, причому після вимкнення к.з. для двигунів компресора та пресів самозапуск успішно завершується (рис. 4, а, в), а двигуни приводу верстатів остаточно гальмуються через 0,8с (рис. 4, б). Напруга після ліквідації к.з. не зростає відразу до попереднього значення, а протягом 1,3 с під час самозапуску двигунів компресора та пресів зростає до номінальної.

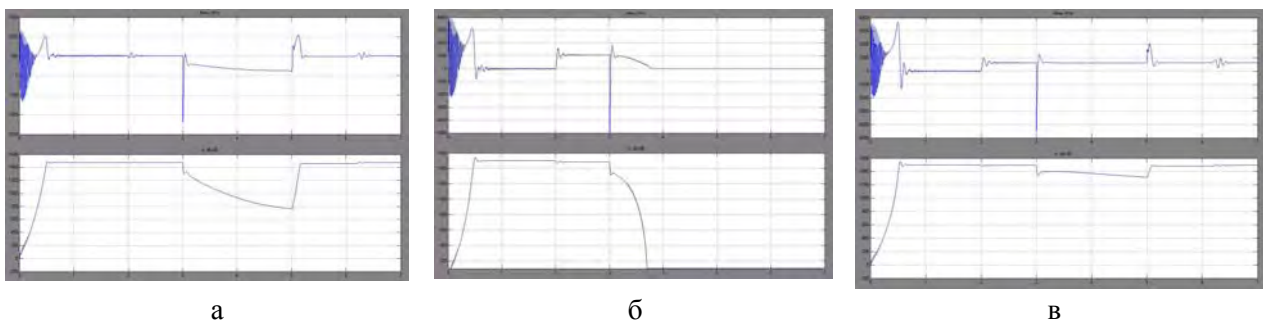


Рис. 4. Електромагнітний момент і частота обертання асинхронних двигунів під час провалу напруги, спричиненого трифазним к.з. тривалістю 2,0 с в точці К15:

а – електропривід компресора; б – електропривід верстата; в – електропривід преса

Під час трифазних к.з. на повітряних лініях визначальною для допустимості провалів напруги є витримка часу АПВ. Якщо пошкодження на лінії Л2→ЛТЕЦ-1 ліквідовуються швидкодіяним захистом, то двигуни верстатів гальмуються при більшій від 1 с витримці часу АПВ після всіх видів к.з. Асинхронний двигун компресора зберігає стійкість роботи під час всіх можливих к.з. навіть з витримкою часу АПВ 3 с.

У разі резервного живлення недопустимі провали напруги в мережі 6 кВ виникають лише для приводу верстатів під час трифазних к.з. на лінії РП15-ТП369 тривалістю 1 с і більше. Після спрацювання АВР з витримкою 1,5 с і більше всі провали напруги будуть недопустимими для асинхронних двигунів пресів та верстатів.

Асинхронний двигун приводу компресора є стійким до всіх розрахункових провалів напруги. Двигуни пресів мають постійний момент опору навантаження від швидкості, що робить їх вразливими до трифазних провалів із тривалістю більше секунди та під час спрацювання АВР. Двигуни приводу верстатів мають квадратично зростаючий зі зменшенням частоти обертання момент опору навантаження. Тому в розрахункових умовах приводи верстатів швидко втрачають швидкість і гальмуються під час провалів напруги, зумовлених трифазними к.з. тривалістю більше від 0,3 с, а також мінімальних витримок часу спрацювання АПВ та АВР.

Висновки. Провали напруги є важливою проблемою якості електроенергії, оскільки вони існують у мережах усіх класів напруг, а їх вплив відчують усі електроприймачі. Провали напруги можуть спричинити порушення в роботі, які супроводжуються значними матеріальними збитками.

Внаслідок роботи сформульовано основні вимоги до моделей розрахунку характеристик провалів напруги. На прикладі конкретної системи електроспоживання за допомогою опрацьованої авторами моделі здійснено дослідження характеристик та оцінювання допустимості провалів напруги. Це показує, що для обґрунтованого проектування системи електропостачання і вибору відповідних засобів нормалізації провалів напруги необхідним є ретельний аналіз альтернативних рішень з врахуванням чутливості електрообладнання споживачів до провалів напруги.

1. ГОСТ 13109-97. *Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.* 2. EN 50160. *Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, 1999.* 3. Карташев И.И. *Задачи обеспечения качества электроэнергии (методы и средства анализа провалов напряжения)* // Вестн. МЭИ. – 1995. – № 3. 4. McGranahan M., Mueller D., Samotyj M. *Voltage Sags in Industrial Systems* // IEEE Transactions on industry applications. – 1993. – No 2, vol. 29. – P. 397–402. 5. Bollen M.J. *Fast Assessment Methods for Voltage Sags in Distribution Systems* // IEEE Transactions on industry applications. – 1996. – No 6, vol. 32. – P. 1414–1423. 6. Bollen M.J., Tayjasanant T., Yalcinkaya G. *Assessment of the Number of Voltage Sags Experienced by a Large Industrial Customer* // IEEE Transactions on industry applications. – 1997. – No 6, vol. 33. – P. 1465–1471.

УДК 621.316.925

В.Г. Гапанович, О.І. Маврін, В.П. Олійник, О.М. Равлик*

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕС,
кафедра ЕСМ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОДАТКОВОГО КОНТУРУ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЗА ПОСТІЙНОЮ СКЛАДОВОЮ НА ДИНАМІЧНІ ПОКАЗНИКИ СТАТИЧНОГО ТИРИСТОРНОГО КОМПЕНСАТОРА

© Гапанович В.Г., Маврін О.І., Олійник В.П., Равлик О.М., 2006

Досліджено вплив додаткового контуру стабілізації на ефективність роботи статичного тиристорного компенсатора.

Influence of additional contour of stabilization is explored on efficiency of work of the static compensating.

Постановка проблеми. У системах електропостачання, що мають в своєму складі потужні тиристорні перетворювачі, зокрема статичні тиристорні компенсатори (СТК), можливе виникнення в струмах постійної складової. Причиною її виникнення є несиметрія імпульсів керування тиристорних перетворювачів, постійна складова струму навантаження (особливо це стосується дугових сталеплавильних печей), аперіодичні складові у разі комутацій навантаження (наприклад, ввімкнення ненавантажених трансформаторів) і аварійні режими перетворювачів спричинені втратою керування одного з плечей тиристорного блока. Постійна складова в струмах силових трансформаторів і реакторів СТК зумовлює їх підмагнічення, що супроводжується значним зростанням струму намагнічення і, як наслідок цього, перегріванням магнітної системи, що недопустимо.

Аналіз останніх досліджень. Досліджень впливу додаткового контуру стабілізації на ефективність роботи СТК за останні роки не знайдено.