

Б.Т. Кононов, О.А. Кононова, Н.М. Куравська

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

АНАЛІЗ СПОСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ОБ'ЄКТІВ

У статті розглядаються способи регулювання напруги в електричних мережах, засновані на зміні параметрів мережі, зміні реактивної потужності, використанні регулюємих силових трансформаторів, у яких можливо змінювати кількість витків їх обмоток та перерозподіляти магнітний потік й змінювати додаткові електрорушійні сили та кут їх вмикання. В електричній мережі можна здійснювати як централізоване (загальне), так і децентралізоване (місцеве) регулювання напруги. Загальне регулювання напруги здійснюється в центрах живлення і призводить до зміни напруги у всій електричній мережі і може бути використано для груп споживачів електричної енергії, що знаходяться в приблизно однакових умовах і мають збігаючись у часі графіки навантажень. Місцеве регулювання напруги використовується тоді, коли електрична мережа має багато ліній електропередачі, які мають значну довжину і істотно розрізняються графіками навантажень і режимів роботи споживачів електричної енергії. Як правило, місцеве регулювання напруги використовується у випадках забезпечення харчування електричною енергією споживачів першої категорії, до яких слід віднести споживачів військових об'єктів.

Ключові слова: регулювання напруги в електричній мережі, зміна параметрів електричної мережі, зміна реактивної потужності, зміна кількості витків обмоток трансформатора, перерозподіл магнітного потоку, додаткова електрорушійних сил, кут зсуву за фазою електрорушійних сил.

Вступ

Постановка проблеми. Регулювання напруги в системах електропостачання здійснюється з метою створення більш сприятливих умов для ефективного використання електричної енергії, що надається її споживачам, шляхом забезпечення вимагаємої її якості. В електричній мережі можливо здійснювати як централізоване (загальне), так й децентралізоване (місцеве) регулювання напруги. Загальне регулювання напруги здійснюється в центрах живлення та приводить до зміни напруги у всій електричній мережі й може бути використано для груп споживачів електричної енергії, що знаходяться в приблизно однакових умовах та мають співпадаючі за часом графіки навантажень.

Місцеве регулювання напруги використовується тоді, коли електрична мережа має багато ліній електропередавання, котрі мають значну довжину і суттєво розрізняються графіками навантажень та режимами роботи споживачів електричної енергії. Як правило, місцеве регулювання напруги використовується в випадках забезпечення живлення електричною енергією споживачів першої категорії, до яких слід віднести споживачів військових об'єктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В відомій літературі [1-4] розглядаються існуючі способи регулювання напруги в електричних мережах систем електропостачання промислових та муніципальних об'єктів й наводяться рекомендації стосовно їх використання. Ці рекомендації не завжди можуть бути використаними в електричних мережах систем електропостачання військових об'єктів, характерними ознаками яких є незначна питома щільність навантажень, значна кількість повітряних і кабельних ліній електропередавання, й велика кількість споживачів електричної енергії першої категорії та споживачів категорії ІА, які характеризуються більш жорсткими вимогами до показників якості електричної енергії й надійності та безперебійності живлення [5]. Разом з тим, в відомих публікаціях не надаються рекомендації стосовно використання тих чи інших способів регулювання напруги в електричних мережах систем електропостачання військових об'єктів.

Розглядаючи задачу вибору способу і засобів регулювання напруги в електричній мережі, як операцію [6,7,8] в якій для досягнення поставленої мети необхідно з'ясувати чинники, що впливають на хід її проведення й очікуємі результатам, перш за все, визначимо, чому в електричній мережі мають місце втрати напруги і чим вони обумовлені.

Основна частина

Слідую [5], визначимо, що при передачі електричної енергії по повітряній або кабельній лінії електропередавання з використанням знижувального силового трансформатора, слід враховувати падіння напруги на активних та реактивних опорах лінії електропередавання і трансформатора й визначити подовження $\Delta U_{\text{поз}}$ та поперечну $\Delta U_{\text{поп}}$ складові втрат напруги з виразів

$$\Delta U_{\text{поз}} = I_a R_3 + I_p X_3; \quad \Delta U_{\text{поп}} = I_a X_3 - I_p R_3, \quad (1)$$

де R_3 , X_3 – загальний активний й реактивний опори лінії та трансформатори; I_a , I_p – активна та реактивна складові струму лінії.

Складові втрат напруги (1) можна представити через величини передаємої активної P_a та реактивної Q_p потужності

$$\Delta U_{\text{поз}} = \frac{P_a R_3 + Q_p X_3}{U}, \quad \Delta U_{\text{поп}} = \frac{P_a X_3 - Q_p R_3}{U}, \quad (2)$$

де U – напруга на початку лінії електропередавання.

З співвідношень (1) та (2) можна зробити висновки, що зменшення (компенсація) втрат напруги і відповідно забезпечення вимагаємої якості електричної енергії може бути досягнуто шляхом зміни параметрів електричної мережі, а саме зміни величини загального реактивного опору X_3 й шляхом генерування реактивної потужності Q_p .

Відповідні схеми електричних мереж, в яких використовуються ці рішення, наведені на рис. 1.

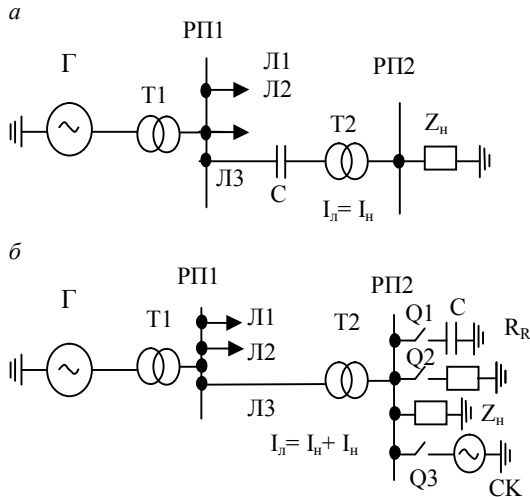


Рис. 1. Схеми електричних мереж з компенсацією втрат напруги

На рис. 1, а наведена схема електричної мережі, в якій джерелом енергії є генератор Γ з підвищуючим трансформатором $T1$, розподільчими пристроями РП1 та РП2, лініями електропередавання $L1, L2, L3$ знижуючим трансформатором $T2$ та конденсатором C , який використовується для повздовжньої ємнісної компенсації втрат напруги. В випадку повної компенсації ємність конденсатора C вибирається так, щоб $X_C = X_3$, чим досягається зменшення повздовжньої складової втрат напруги на величину, що дорівнює добутку реактивного струму I_p на загальну реактивність X_3 .

Повздовжню ємнісну компенсацію втрат напруги недоцільно використовувати в електричних мережах систем електропостачання військових об'єктів. Це, по перше, пов'язано з можливістю пробою конденсатора C й, як наслідок, перерви в електропостачанні в зв'язку з кидком напруги на ємності конденсатора при вмиканні лінії електропередавання, по друге, це пов'язано з можливістю виникнення небажаних резонансних явищ при вмиканні трансформатора $T2$, навантаження якого мале або взагалі відсутнє.

На рис. 1, б наведена схема електричної мережі в варіанті поперечної ємнісної компенсації (включений вимикач $Q1$) та в варіанті генерування реактивної потужності (включений вимикач $Q3$). При поперечній ємнісній компенсації по лінії $L3$ проходить не тільки струм навантаження I_n , но й струм зарядження конденсатора I_C , що змінює кут зсува фазою між напругою на початку лінії U_1 та струмом лінії I_n , що приводить до зменшення повздовжньої складової втрати напруги.

Поперечну ємнісну компенсацію, також, небажано використовувати в електричних мережах систем електропостачання військових об'єктів. Це, по перше, пов'язано з підвищеною загрозою ураження електричним струмом особового складу, що здійснює експлуатацію обладнання розподільчого пристрою, а, по друге, це пов'язано зі суттєвим зростанням вагобаритних характеристик розподільчого пристрою в зв'язку з необхідністю здійснення розрядки конденсатора C за допомогою використання для цього розрядного опору R_R , вмикаємого вимикачем $Q2$.

Більш прийнятним для систем електропостачання військових об'єктів є варіант з застосуванням синхронного компенсатора СК, вмикаємого за допомогою вимикача $Q3$. Синхронний компенсатор виробляє реактивну потужність Q_p , яку не треба передавати по лінії електропередавання що дозволяє відповідно до співвідношення (2), знизити втрати напруги. В якості синхронного компенсатора доцільно використовувати синхронні генератори резервних джерел енергії, наприклад, дизель-генератори або бензинові електроагрегати, в яких замість нероз'ємної муфти, що поєднує вали генератора та приводного двигуна використовувати роз'ємну муфту.

При наявності напруги в електричній мережі слід запустити резервне джерело живлення, виконати його вмикання на паралельну роботу, відключити муфту, зупинити приводний двигун й перевести синхронний генератор в режим синхронного компенсатора, змінюючи для цього струм в колі збудження.

В випадку, коли за допомогою розглянутих рішень не вдається підтримувати вимагаєму якість електричної енергії, доцільно здійснювати регулювання напруги, впливаючи при цьому на роботу трансформатора $T2$. Узагальнена схема силового трансформатора, за допомогою якого можливо здійснювати регулювання напруги наведена на рис. 2.

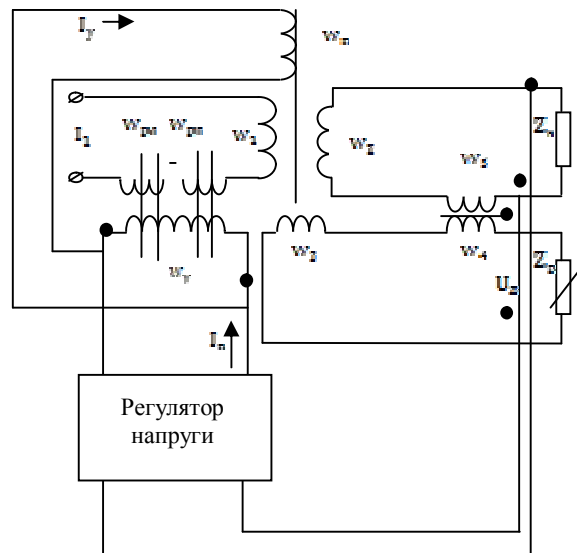


Рис. 2. Узагальнена схема регулюємого трансформатора

В наведеній узагальненій схемі регулюємого трансформатора напруга U_1 подається на вхід електричного кола, в якому послідовно з первинною обмоткою w_1 включені робочі обмотки магнітного під-

силового $w_{рл}$ та $w_{рп}$, падіння напруги U_p на яких залежить від величини струму підмагнічування I_p , значення якого визначається величиною напруги U_2 , знімаємої з вторинної w_2 обмотки трансформатора.

В коло вторинної обмотки трансформатора w_2 послідовно включена обмотка w_5 вольтододаточного трансформатора, первинна обмотка w_4 якого послідовно з'єднана з обмоткою w_3 силового трансформатора і змінним опором Z_p . В розглядаємії схемі магнітопровід трансформатора підмагнічується струмом I_y , що подається на обмотку підмагнічування w_n . Вихідний струм регулятора напруги залежить від величини вихідної напруги U_2 .

Розглянемо основний режим роботи трансформатора, коли навантаження Z_n включено. Для цього режиму роботи поточкозчеплення первинної Ψ_1 та вторинних Ψ_2 та Ψ_3 обмоток відповідно дорівнюють:

$$\begin{aligned} \Psi_1 &= w_1 \Phi_0 + L_{S1} i_1; \\ \Psi_2 &= w_2 \Phi_0 + L_{S2} i_1; \\ \Psi_3 &= w_3 \Phi_0 + L_{S3} i_1, \end{aligned}$$

де Φ_0 – основний магнітний потік магнітопроводу трансформатора; L_{S1} , L_{S2} , L_{S3} – індуктивності розсіювання обмоток, визначаємі їх потоками розсіювання Φ_{S1} , Φ_{S2} та Φ_{S3} .

В обмотках w_1, w_2, w_3 наводяться електрорушійні сили e_1, e_2 та e_3

$$\begin{aligned} e_1 &= -\frac{d\Psi_1}{dt} = -w_1 \frac{d\Psi_0}{dt} - L_{S1} \frac{di_1}{dt} = e_{01} + e_{S1}; \\ e_2 &= -\frac{d\Psi_2}{dt} = -w_2 \frac{d\Psi_0}{dt} - L_{S2} \frac{di_1}{dt} = e_{02} + e_{S2}; \\ e_3 &= -\frac{d\Psi_3}{dt} = -w_3 \frac{d\Psi_0}{dt} - L_{S3} \frac{di_1}{dt} = e_{03} + e_{S3}. \end{aligned}$$

Відповідно до [9] складемо рівняння рівноваги напруг, прикладених до електричних кіл первинної і вторинної обмоток трансформатора, враховуючи те, що падіння напруги U_p на робочих обмотках $w_{рл}$ та $w_{рп}$ магнітного підсилювача залежить від величини струму підмагнічування, тобто це падіння напруги визначається виразом $u_p = I_p \cdot X_{wp}$, й те, що за допомогою вольтододаточного трансформатора, створеного обмотками w_4 та w_5 , електрорушійна сила e_3 обумовлює появу в колі вторинної обмотки w_2 додаткової електрорушійної $e_{дод}$. Відповідні рівняння мають вигляд:

$$\begin{aligned} u_1 &= i_1 R_1 - e_{01} - e_{S1} + U_p(I_n) = i_1 R_1 + w_1 \frac{d\Phi_0}{dt} + \\ &+ L_{S1} \frac{di_1}{dt} - U_p(I_n); \\ u_2 &= e_{02} + e_{S2} - i_2 R_2 + e_{дод} = -w_2 \frac{d\Phi_0}{dt} + L_{S2} \frac{di_1}{dt} - \\ &- i_2 R_2 + e_{дод}, \end{aligned}$$

де R_1, R_2 – активні опори первинної та вторинної обмоток; $L_{S1} = w_1 \cdot \Phi_{S1} / i_1$, $L_{S2} = w_2 \cdot \Phi_{S2} / i_2$ – індуктивності розсіювання первинної та вторинної обмоток; Φ_{S1}, Φ_{S2} – потоки розсіювання первинної та вторинної обмоток.

Розуміючи під коефіцієнтом перетворення напруги K відношення модулів первинної та вторинної напруги, тобто $K = |U_1| / |U_2|$, зробимо висновок, що регулювання напруги за допомогою силового трансформатора може здійснюватися шляхом зміни магнітного потоку Φ_0 , шляхом зміни індуктивностей розсіювання L_{S1}, L_{S2} або зміни потоків Φ_{S1}, Φ_{S2} , шляхом зміни падіння напруги на робочих обмотках магнітного підсилювача $u_p(I_n)$, шляхом зміни додаткової електрорушійної сили $e_{дод}$. й шляхом зміни кута γ між електрорушійною силою e_{02} та додатковою електрорушійною силою $e_{дод}$.

Розглянемо спочатку перший спосіб регулювання напруги, заснований на зміні кількості витків w . За цим способом обмотку високої напруги, в нашому випадку обмотку w_1 , слід виконати з відгалуженнями і здійснювати механічне перемикання відгалужень. Можливо також первинну обмотку виконати в вигляді двох обмоток $w_{1\alpha}$ та $w_{1\beta}$ та здійснювати електричну комутацію цих обмоток за допомогою тиристорних ключів ТК α та ТК β . Регулювання напруги зміною кількості витків доцільно виконувати на стороні високої напруги, оскільки при перемиканнях можливо вимкнення електричної дуги, погасити яку простіше при менших значеннях струму. При механічному перемиканні відгалужень для здійснення комутації потрібно мати два рухомих контактів, для управління якими електропривід повинен мати можливість реверса й для обмеження струмів, коли рухоми контакти знаходяться на різних відгалуженнях і створюють короткозамкнене коло, до складу регулятора напруги потрібно вводити струмообмежуючі реактори. Все це суттєво ускладнює регулятор напруги і знижує надійність регулюемого трансформатора. Більш простішим є варіант регулювання з електричною комутацією відгалужень (рис. 3)

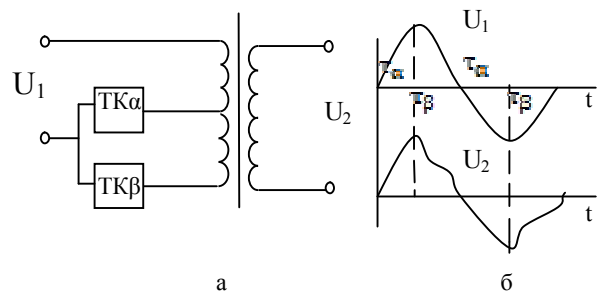


Рис. 3. Регулювання напруги шляхом електричної комутації відгалужень: а – схема регулюемого трансформатора; б – часові діаграми

В схемі (рис. 3) регулювання напруги здійснюється шляхом зміни інтервалів часу τ_α та τ_β , на протязі яких відповідно включені тиристорні ключі ТК α та ТК β . Для збільшення напруги необхідно збільшити час τ_α . Разом τ_α та τ_β дорівнюють половині періоду $T/2$. Недоліком розглянутого варіанта регулювання напруги є необхідність використання потужних індуктивних фільтрів для покращення форми вихідної напруги. Це обмежує діапазон застосування регулюемых трансформаторів з електричною комутацією відгалужень потужностями, що не перевищують 200 кВА.

При регулюванні напруги шляхом зміни магнітного потоку, частіше за все, використовують трансформатори з магнітним шунтом, трансформатори з підмагнічуванням головних стрижнів і трансформатори з тиристорною комутацією короткозамкнених обмоток.

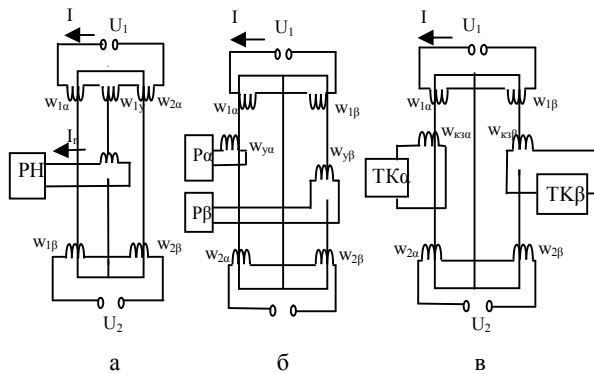


Рис. 4. Трансформатори регулюємі зміною магнітного потоку: а – трансформатор з магнітним шунтом; б – трансформатор з підмагнічуванням головних стрижнів; в – трансформатор з тиристорною комутацією короткозамкнених обмоток

Для всіх трансформаторів, показаних на рис. 4, спільним є те, що їх магнітопровід виконаний Ш-подібним, а первинна w_1 і вторинна w_2 обмотки складаються з двох частин $w_{1\alpha}$ й $w_{1\beta}$ та $w_{2\alpha}$ й $w_{2\beta}$. У трансформаторі з магнітним шунтом (рис.4,а) величина магнітного потоку залежить від величини струму підмагнічування I_n , який подається на обмотку підмагнічування w_n магнітного шунта. В випадку, коли струм підмагнічування I_n малий, магнітопровід шунта не насичений і індуктивний опір обмотки шунта w_n великий, а струм I_1 , який визначається індуктивним опором обмоток $w_{1\alpha}$ й $w_{1\beta}$ та обмотки шунта w_n , малий. Намагнічувальна сила, яка створюється обмотками $w_{1\alpha}$ й $w_{1\beta}$ дуже мала, відповідно малий магнітний потік Φ й мала електрорушійна сила e_2 , що створюється обмотками $w_{2\alpha}$ та $w_{2\beta}$. При зростанні струму підмагнічування I_n осердя магнітного шунта насичується, індуктивний опір обмотки w_n зменшується, завдяки чому зростає струм I_1 , зростає намагнічувальна сила $F_1 = I_1 \cdot (w_{1\alpha} + w_{1\beta})$ зростає магнітний потік Φ й зростає, в решті решт, вихідна напруга U_2 .

У трансформатора з підмагнічуванням головних стрижнів (рис. 4, 5) регулювання напруги здійснюється шляхом зміни інтервалів часу τ_α та τ_β , на протязі яких подається струм управління $I_{y\alpha}$ або струм управління $I_{y\beta}$ в відповідно обмотки управління $w_{y\alpha}$ та $w_{y\beta}$. При подачі струму управління в обмотку $w_{y\alpha}$ насичується магнітопровід лівого стрижня, індуктивний опір обмоток $w_{1\alpha}$ та $w_{2\alpha}$ стає практично рівним нулю, ці обмотки ніби то закорочуються й перетворення напруги здійснюється β – трансформатором при цьому величина $u_2 = u_1 (w_{2\beta} / w_{1\beta}) = u_1 \cdot K_\beta$. При подачі струму управління в обмотку $w_{y\beta}$ насичується магнітопровід правого стрижня, індуктивний опір обмоток $w_{1\beta}$ та $w_{2\beta}$ стає практично рівним нулю і перетворення напруги

здійснюється α -трансформатором, при цьому, величина $U_2 = U_1 (w_{2\alpha} / w_{1\alpha}) = u_1 \cdot K_\alpha$. Якщо прийняти, що $K_\alpha > K_\beta$, то для підвищення напруги треба збільшувати на протязі на півперіоду $T/2$ інтервал часу τ_β , відповідно зменшуючи інтервал часу τ_α . Варіант регулювання напруги шляхом підмагнічування головних стрижнів, частіше за все, використовується у автотрансформаторних стабілізаторів напруги.

У трансформаторів з тиристорною комутацією короткозамкнених обмоток (рис. 4, в) регулювання напруги здійснюється шляхом зміни інтервалів часу τ_α та τ_β , на протязі яких тиристорні ключі ТК α та ТК β закорочують обмотки $w_{k3\alpha}$ та $w_{k3\beta}$ і у цих обмотках виникає струм, під дією якого у відповідних лівому (α – трансформатор) та правому (β – трансформатор) головних стрижнях з'являється магнітний потік, направлений протилежно магнітному потоку, який створюється обмотками $w_{1\alpha}$ й $w_{1\beta}$ під дією струма I_1 , що протікає в колі цих обмоток. Таким чином, якщо включений тиристорний ключ ТК α , то результуючий магнітний потік в лівому головному стрижні практично відсутній і перетворення напруги здійснюється β – трансформатором з коефіцієнтом трансформації $K_\beta = w_{2\beta} / w_{1\beta}$. В випадку включення тиристорного ключа ТК β перетворення напруги відбувається з коефіцієнтом $K_\alpha = w_{2\alpha} / w_{1\alpha}$. Якщо вважати, що $K_\alpha > K_\beta$, то для підвищення напруги треба збільшувати інтервал часу τ_β й відповідно зменшувати інтервал часу τ_α .

У трансформаторів (рис. 5), у яких, відповідно до співвідношень (4), регулювання напруги здійснюється шляхом зміни індуктивності розсіювання L_3 , на одному стрижні розміщена первинна обмотка w_1 , короткозамкнена обмотка w_{k3} й рухома вторинна обмотка w_2 .

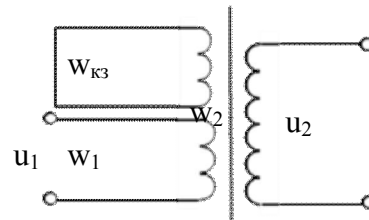


Рис. 5. Регулюємі трансформатор з рухомою вторинною обмоткою

Під дією напруги U_1 , прикладеної до обмотки w_1 , в цій обмотці з'являється струм I створюється намагнічуюча сила $F_1 = I_1 \cdot w_1$ і в магнітопроводі трансформатора виникає магнітний потік Φ , який складається з основного магнітного потоку Φ_0 і потоку розсіювання Φ_{1s} . Під дією основного магнітного потоку Φ_0 в короткозамкненій обмотці w_{k3} з'являється електрорушійна сила E_{k3} і по цій обмотці протікає струм I_{k3} , що приводить до появи зустрічного потоку Φ_{k3} , який також складається з двох потоків основного Φ_{0k3} і потоку розсіювання Φ_{sk3} . В крайньому верхньому положенні рухомої вторинної обмотки w_2 результуючий магнітний потік $\Phi_{2\beta}$, що діє на цю обмотку є мінімальним і дорівнює різниці основного магнітного потоку Φ_0 і потоку короткозамкненої обмотки Φ_{k3} . В крайньому нижньому положенні рухомої вторинної

обмотки w_2 результируючий магнітний потік Φ_{2n} максимальний і дорівнює різниці магнітного потоку Φ_3 і основної частині Φ_{0k3} потоку короткозамкненої обмотки. Оскільки електрорушійна сила, що виникає у вторинній обмотці w_2 прямо пропорційна величині магнітного потоку Φ_2 , неважко впевнитися, що при переміщенні вторинної обмотки вихідна напруга буде плавно змінюватися. Регулювання напруги при цьому базується на зміні величини індуктивностей розсіювання первинної обмотки L_{S1} і короткозамкненої обмотки L_{SK3} . Для збільшення діапазону регулювання напруги треба збільшувати потоки розсіювання Φ_{S1} та Φ_{SK3} , що, в решті решт, суттєво знижує коефіцієнт корисної дії трансформатора. Крім того значними недоліками такого трансформатора є обмежена швидкодія, складність конструкції та невисока надійність, обумовлена наявністю рухомої обмотки. Розглянута конструкція використовується лише для окремих типів зварювальних трансформаторів.

При регулюванні напруги шляхом зміни величини падіння напруги U_p на робочих обмотках магнітного підсилювача змінюється величина струму підмагнічування I_n , що подається на обмотку управління w_y магнітного підсилювача (рис. 2). При збільшенні струму підмагнічування I_n збільшується насичення осердя магнітного підсилювача і знижується індуктивний реактивний опір x_p його робочих обмоток $w_{рл}$ та $w_{рп}$. При цьому зростає струм I_1 , що протікає по первинній обмотці w_1 трансформатора, показаного на рис. 2, а значить зростає магнітний потік, що пронизує вторинну обмотку трансформатора w_2 (рис. 2), і збільшується вихідна напруга U_2 . Перевагами розглянутого способу регулювання напруги є простота конструкції, висока швидкодія і головне, плавність регулювання без викривлення форми кривої вихідної напруги, що має місце у варіантах регулювання шляхом підмагнічування стрижнів й тиристорної комутації короткозамкнених обмоток.

Регулювання напруги зміною величини додаткової електрорушійної сили $e_{\text{дод}}$ відповідно до співвідношень (5) здійснюється шляхом управління її величиною, як це показано на рис. 2. Додаткова електрорушійна сила $e_{\text{дод}}$ створюється за допомогою вольтододаткового трансформатора, що має первинну w_4 вторинну w_5 обмотки. Первинна обмотка w_4 цього трансформатора отримує живлення від обмотки w_3 трьохобмоточного трансформатора. Величина напруги, що може бути прикладена до обмотки w_4 , визначається значенням регулюємого опору реактора z_p .

Кут зсува за фазою γ між електрорушійною силою \dot{E}_2 , яка отримується в обмотці w_2 трьохобмоточного трансформатора, та електрорушійною силою $\dot{E}_{\text{дод}}$, яка виникає в обмотці w_5 , визначається групою з'єднань обмоток трансформаторів. В електричних мережах систем електропостачання військових об'єктів застосовують як повздовжнє, так і поперечне регулювання за допомогою вольтододаткових трансформаторів. При повздовжньому регулюванні електрорушійні сили \dot{E}_2 та $\dot{E}_{\text{дод}}$ знаходяться у фазі або протифазі, а при поперечному регулюванні, яке найлегше реалізується у трифазних електричних колах, кут зсуву за фазою γ змінюється через 30° в діапазоні від 0 до 360° і не дорівнює 0 або 180° .

Висновки

1. Втрати напруги, що мають місце в електричних мережах військових об'єктів, залежать від графіків навантажень цих об'єктів і визначаються довжиною ліній електропередавання й активними та реактивними навантаженнями.

2. Для зменшення втрат напруги в лініях електропередавання доцільно підвищувати значення передаваної напруги, обмежуючи її лише з умов зменшення додаткових витрат на ізоляцію.

3. Для регулювання напруги в електричних мережах військових об'єктів необхідно використовувати силові трансформатори, які встановлені в трансформаторних підстанціях цих об'єктів і забезпечують зниження напруги до значень, на яких здійснюється живлення електротехнічного обладнання і зразків озброєння і військової техніки.

4. Для регулювання напруги в електричних військових об'єктів можливо використовувати способи регулювання, засновані на зміні параметрів електричної мережі, на зміні величини реактивної потужності, що виробляється власними електричними машинами, на зміні кількості витків обмоток трансформатора, на зміні основного магнітного потоку та зміні індуктивностей розсіювання, на зміні величини напруги, що підводиться до первинної обмотки трансформатора, на зміні величини додаткової електрорушійної сили, що включена в коло вторинної обмотки трансформатора, і зміні кута зсува за фазою між основною та додатковою електрорушійними силами.

5. Вибір конкретного способу та засобів регулювання напруги в електричних мережах військових об'єктів залежить від складу споживачів і їх категорії, наявності автономних та резервних джерел живлення, вимогами до якості електричної енергії й таких її показників як допустимі відхилення і форма кривої живлячої напруги.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Соловьев П.М. Автоматизация энергетических систем. – М.Л.: Госэнергоиздат, 1956. – 532 с.
2. Барзам А.В. Системная автоматика. – М.Л.: Энергия, 1964. – 472 с.
3. Бажанов С.М., Бенин В.Л. Автоматическое регулирование в энергосистемах. – Киев. Техника, 1965. – 374 с.
4. Рогожкин Г.М. Автоматизация систем электроснабжения / Г.М. Рогожкин, А.Д. Савоскин, Б.Т. Кононов, В.П. Козиренко / – МО СССР, 1985. – 514 с.
5. Кононов Б.Т. Релейный захист та автоматика в системах електропостачання військових об'єктів. Підручник / Б.Т. Кононов, Б.Ф. Самойленко, В.Б. Кононов / – Х.: МОУ, ХУПС, 2007. – 384 с.
6. Надежность и эффективность в технике : Справочник : В 10 т. / Ред совет : В.С. Авдудевский (пред) и др. –М.: Машиностроения, 1986. – Т1.: Методология. Организация. Терминология. / Под ред. А.И. Рембезы. – 224 с.

7. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. / Ред. совет В.С. Авдудевский (пред) и др. – М.: Машиностроение, 1988 : Т3. Эффективность технических систем / Под ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – 328 с.
8. Кононов Б.Т. Обґрунтування методики дослідження шляхів підвищення надійності роботи систем обертання антен радіолокаційних станцій / Б.Т. Кононов, Н.М. Куравська, Наука і техніка Повітряних Сил України. 2016. Вип. 1 (22). С. 88 – 90.
9. Кононов Б.Т. Диференціальні рівняння перехідних процесів у високовольтній трифазній електричній мережі / Б.Т. Кононов, А.О. Мушаров, А.О. Нечаус / Збірник наукових праць ХНУПС. Вип. 1 (22), 2016. С. 114 – 117.

REFERENCES

1. Solovjov P.M.. Automation of power systems. – M.L.: Gosenergoizdat, 1956. – 532 pages.
2. Barzam A.V. System automatic equipment. – M.L.: Energy, 1964. – 472 pages.
3. Bazhanov S.M., Benin V.L. Automatic control in power supply systems. – Kiev. Equipment, 1965. – 374 pages.
4. Rogozhkin G.M. Automation of power supply systems / G.M. Rogozhkin, A.D. Savoskin, B.T. Kononov, V.P. Kozirenko / – MO USSR, 1985. – 514 pages.
5. Kononov B.T. Releyny a zakhist that automatic equipment in systems електропостачання v_yskovy about' ектів. P_druchnik / B.T. Kononov, B.F. Samoilenko, V.B. Kononov / – X.: Municipal educational institution, HOOPS, 2007. – 384 p.
6. Reliability and efficiency in the equipment: Reference book: In 10 t. / Red council: V.S. Avduyevsky (before), etc. – M.: Mechanical engineering, 1986. – T1.: Methodology. Organization. Terminology. / Under the editorship of A.I. Rembeza. – 224 pages.
7. Reliability and efficiency in the equipment: Reference book: In 10 t. / An edition council V.S. Avduyevsky (before), etc. – M.: Mechanical engineering, 1988: T3. Efficiency of technical systems / Under the editorship of V.F. Utkin, Yu.V. Kryuchkov. – 328 pages.
8. Kononov of B.T. Obgruntuvann of a technique дослідження шляхів підвищення надійності robot of systems обертання antennas rad_olokats_ynu станцій / B.T. Kononov, N.M. Kuravska, Science i tekhn_ka Pov_tryanikh Sil Ukraşni. 2016. VIP. 1 (22). Page 88 – 90.
9. Kononov B.T. Diferents_aln_rivnyannya perekh_dnyu процесів at високовольтній трифазній електричній мережі / B.T. Kononov, A.O. Musharov, A.O. Nechaus / Zb_rnik naukovy праць HNUPS. VIP. 1 (22), 2016. Page 114 – 117.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б. Г. Любарський,
 Національний технічний університет "ХПІ", Харків
 Received (Надійшла) 15.09.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 10.10.2018

Анализ способов регулирования напряжения в электрических сетях систем электроснабжения военных объектов

Б. Т. Кононов, О. А. Кононова, Н. М. Куравська

В статье рассматриваются способы регулирования напряжения в электрических сетях, основанные на изменении параметров сети, изменении реактивной мощности, использовании регулируемых силовых трансформаторов, в которых возможно изменять количество ветки их обмоток и перераспределять магнитный поток и изменять дополнительные эдс и угол их включения. В электрической сети можно осуществлять как централизованное (общее), так и децентрализованное (местное) регулирования напряжения. Общее регулирование напряжения осуществляется в центрах питания и приводит к изменению напряжения во всей электрической сети и может быть использовано для групп потребителей электрической энергии, находящихся в примерно одинаковых условиях и имеют совпадая по времени графики нагрузок. Местное регулирование напряжения используется тогда, когда электрическая сеть имеет много линий электропередачи, которые имеют значительную длину и существенно различаются графиками нагрузок и режимов работы потребителей электрической энергии. Как правило, местное регулирование напряжения используется в случаях обеспечения питания электрической энергией потребителей первой категории, к которым следует отнести потребителей военных объектов.

Ключевые слова: регулирование напряжения в электрической сети, изменение параметров электрической сети, изменение реактивной мощности, изменение количества ветки обмоток трансформатора, перераспределение магнитного потока, дополнительная электродвижущих сил, угол сдвига по фазе электродвижущих сил.

Analysis methods of voltage regulation in electric networks of power systems of military installations

B. Kononov, O. Kononova, N. Kuravska

In the article discusses the methods of voltage regulation in electrical networks based on changing network parameters, changing reactive power, using adjustable power transformers, in which it is possible to change the number of branches of their windings and redistribute the magnetic flux and change the additional emf and the angle of their inclusion. In the electrical network can be carried out as a centralized (general), and decentralized (local) voltage control. The total voltage regulation is carried out in the power centers and leads to a change in voltage throughout the entire electrical network and can be used for groups of electrical energy consumers that are in approximately the same conditions and have coinciding load diagrams. Local voltage regulation is used when the electrical network has many power lines, which are of considerable length and significantly differ in the load schedules and modes of operation of consumers of electrical energy. As a rule, local voltage regulation is used in cases of supplying electrical energy to consumers of the first category, which should include consumers of military facilities.

Keywords: voltage regulation in the electrical network, change in the parameters of the electrical network, change in reactive power, change in the number of transformer windings, redistribution of magnetic flux, additional electromotive forces, phase angle of electromotive forces.