

Ю. Ф. Романюк¹
О. В. Соломчак¹
Б. Л. Грабчук¹
О. І. Савчин¹

ВИБІР СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ ОДНОФАЗНИХ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ НАПРУГОЮ 220/380 В

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Двофазні трипровідні та однофазні двопровідні відгалуження від магістральних трифазних ліній є невід'ємними складовими трифазних чотирипровідних систем. Тому метою цієї роботи є вибір оптимальної системи живлення однофазних електроприймачів залежно від їх потужності та довжини відгалуження. Проведено порівняння одно-, дво- і трифазної систем живлення однофазних електроприймачів та отримані аналітичні вирази для визначення втрат потужності, втрати фазної напруги й перерізу проводів за допустимою втратою напруги за однакової сумарної активної потужності навантаження та рівномірного її розподілу між фазами. На підставі отриманих виразів проаналізовано, як змінюються сумарні втрати потужності, втрата напруги у фазних і нульовому проводах за різних систем живлення. При переході від трифазної чотирипровідної системи живлення однофазних електроприймачів до однофазної двопровідної чи двофазної трипровідної системи за однакової сумарної потужності навантаження та рівномірного навантаженням фаз з перерізами проводів, вибраних за допустимою втратою напруги, втрати потужності та втрата фазної напруги в лінійних відгалуженнях залишаються незмінними у зв'язку з відповідним зменшенням їх активних опорів. Показано, що інколи застосування однофазних та двофазних відгалужень дає економію провідникових матеріалів порівняно з трифазним лінійним відгалуженням, переріз проводів якого є завищеним через необхідність забезпечення умови механічної міцності. Розраховано залежності граничної довжини від активної потужності навантаження трифазних і однофазних повітряних ізолюваних ліній, які відповідають допустимій втраті напруги. Показано, що гранична довжина трифазних лінійних відгалужень значно перевищує граничні довжини однофазних і двофазних відгалужень за однакової потужності навантаження. Остаточний варіант системи живлення потрібно вибирати на підставі техніко-економічного розрахунку залежно від потужності навантаження, довжини лінії та допустимої втрати напруги.

Ключові слова: повітряна лінія, однофазна, двофазна, система живлення, однофазний електроприймач, гранична довжина повітряних ліній.

Вступ

Часто під час проєктування систем електропостачання об'єктів невеликої потужності з однофазними електроприймачами необхідно вибрати оптимальну систему їх живлення (одно-, дво- чи трифазною лінією). Згідно з ПУЕ [1] всі неізолювані та ізолювані проводи, кабелі та шини мають задовольняти вимогам щодо граничного допустимого нагрівання з урахуванням нормальних і післяварійних режимів роботи електричних мереж. Переріз проводів низьковольтних електричних мереж напругою 380/220 В потрібно також перевіряти за допустимою втратою напруги з метою забезпечення необхідної якості електроенергії. Таким чином, вибір перерізу проводів ліній для різних систем живлення потрібно здійснювати за двома технічними умовами: умовою нагрівання з перевіркою за допустимою втратою напруги, або за допустимою втратою напруги з перевіркою за умовою нагрівання. Додатковою умовою вибору перерізу проводів [1] є забезпечення їх механічної міцності. Доцільність будь-якого варіанта живлення залежить від співвідношення довжини лінії та потужності навантаження і повинна бути обґрунтована техніко-економічним розрахунком.

Питання вибору системи живлення однофазних електроприймачів висвітлено в низці робіт.

До прикладу, в роботах [2]—[5] наведені аналітичні вирази для визначення втрати напруги в різних системах живлення за несиметричного активного навантаження фаз, а в [4] — зокрема за різних коефіцієнтів потужності. У роботі [6] розглядається нова технологія розподілу однофазних навантажень між трьома фазами з метою мінімізації дисбалансу напруг. На основі адитивного методу для вирішення завдань з двійковими змінними розроблена методика оптимізації розподілу навантажень та запропоновано алгоритм її реалізації. У роботі [7] подано інноваційне та недороге рішення для живлення трифазних сільських об'єктів за допомогою нової двопровідної системи розподілу. У [8] проаналізовано вплив дисбалансу навантаження на втрати потужності в мережі низької напруги. Розглянуто вплив вуличного освітлення та мікрогенерації на дисбаланс навантаження та втрати енергії.

Двофазні трипровідні та однофазні двопровідні відгалуження від магістральних трифазних ліній є невід'ємними складовими трифазних чотирипровідних систем. Типовим навантаженням таких відгалужень можуть бути як однофазні електроприймачі (житлові будинки), так і електроприймачі, які можуть вмикатись на одну, дві чи три фази (багатосекційні нагрівні елементи).

Тому *метою цієї роботи* є вибір оптимальної системи живлення однофазних електроприймачів, які увімкнені між фазним та нульовим проводами.

Основними завданнями роботи є:

- аналіз та встановлення аналітичних співвідношень між параметрами різних систем живлення;
- порівняння систем живлення;
- вибір перерізу проводів за допустимою втратою напруги для різних систем живлення;
- вибір системи живлення електроприймачів залежно від потужності навантаження.

Проаналізуємо різні варіанти систем живлення однофазних споживачів від трифазної чотирипровідної електричної мережі.

Однофазна двопровідна система живлення з активним навантаженням

Припустимо, що відомою є активна потужність навантаження P та допустима втрата напруги ΔU_{lim} , %. Для заданих умов визначимо сумарну втрату напруги ΔU_P у фазному та нульовому проводах, сумарну втрату потужності ΔP та необхідний переріз проводів F для однофазної двопровідної системи живлення (рис. 1).

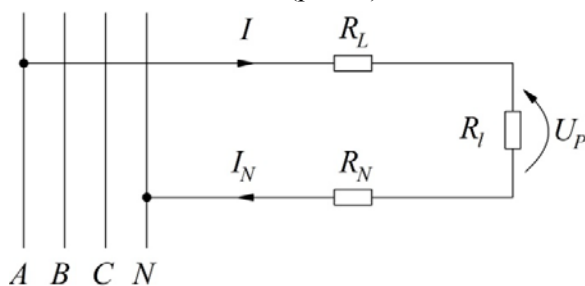


Рис. 1. Однофазна двопровідна система живлення

Активна потужність навантаження

$$P = U_P I. \quad (1)$$

Струми у фазному та нульовому проводах рівні і їх наближено можна визначити з виразу

$$I = I_N = \frac{P}{U_P} = \frac{\sqrt{3}P}{U}, \quad (2)$$

де U_P , U — відповідно фазна та лінійна напруги трифазної чотирипровідної мережі.

Допустима втрата фазної напруги у відсотках

$$\Delta U_{\text{lim}} \% = \frac{\Delta U_{\text{lim}}}{U_P} 100 \quad (3)$$

або в іменованих одиницях

$$\Delta U_{\text{lim}} = \frac{\Delta U_{\text{lim}} \% U_P}{100}. \quad (4)$$

Активний опір проводів лінії залежить від матеріалу, з якого вони виготовлені, площі поперечного перерізу та довжини лінії

$$R_L = R_N = \frac{\rho l}{F}, \quad (5)$$

де ρ — питомий електричний опір матеріалу проводу, Ом·мм²/км; l — довжина лінії, км; F — площа поперечного перерізу проводу, мм².

Сумарна втрата фазної напруги в лінії становить

$$\Delta U_P = IR_L + I_N R_N = 2IR_L. \tag{6}$$

З урахуванням (2) можемо записати

$$\Delta U_P = 2 \frac{P}{U_P} R_L = \frac{2\sqrt{3}PR_L}{U} = 3,46 \frac{PR_L}{U} \tag{7}$$

або з урахуванням (5) —

$$\Delta U_P = \frac{2\sqrt{3}P}{U} \cdot \frac{\rho l}{F}. \tag{8}$$

Прирівнявши втрату фазної напруги ΔU_P допустимій втраті ΔU_{lim} , з виразу (8) визначимо переріз проводів двопровідної лінії:

$$F = \frac{2\sqrt{3}\rho Pl}{\Delta U_{lim} U} = \frac{2\sqrt{3}\rho Pl}{\Delta U_{lim} \% U_P U} 100 = \frac{600\rho Pl}{\Delta U_{lim} \% U^2}. \tag{9}$$

Об'єм провідникового матеріалу для двопровідної лінії живлення становить

$$V = 2Fl = \frac{1200\rho Pl^2}{\Delta U_{lim} \% U^2}. \tag{10}$$

Сумарні втрати активної потужності в однофазній двопровідній системі живлення

$$\Delta P = I^2 R_L + I^2 R_N = 2I^2 R_L; \tag{11}$$

$$\Delta P = 2 \frac{P^2}{U_P^2} R_L = \frac{6P^2}{U^2} R_L. \tag{12}$$

Двофазна трипровідна система живлення з активним навантаженням

За відомою сумарною активною потужністю навантаження фаз P та допустимою втратою напруги ΔU_{lim} , % визначимо втрати напруги ΔU_P у фазних та нульовому проводах, сумарну втрату потужності ΔP на приєднанні від трифазної мережі та необхідний переріз проводів F для двофазної трипровідної системи живлення за рівномірного розподілу потужності навантаження (рис. 2). Будемо вважати, що лінія виконана проводами однакового перерізу ($R_N = R_L$).

Оскільки сумарна потужність приєднання P розподілена рівномірно між двома фазами, то потужність навантаження однієї фази становить

$$P_P = U_P I = \frac{P}{2}. \tag{13}$$

Струми в однаково навантажених фазах A і C мережі

$$I_A = I_C = I = \frac{P_P}{U_P} = \frac{P}{2U_P} = \frac{\sqrt{3}P}{2U}. \tag{14}$$

Визначимо, як розподіляється втрата напруги між фазними і нульовим проводами у двофазній трипровідній системі.

За першим законом Кірхгофа струм у нульовому проводі

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_C. \tag{15}$$

Додавання векторів \dot{I}_A та \dot{I}_C виконаємо геометрично (рис. 3). У разі $R_N \ll R_l$, що зазвичай має місце на практиці, зміщенням нейтралі можна знехтувати. Тоді фазні

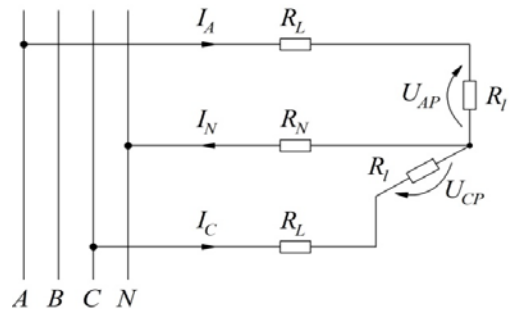


Рис. 2. Двофазна трипровідна система живлення

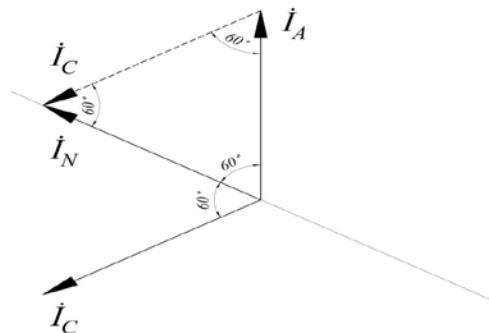


Рис. 3. Векторна діаграма струмів у двофазній трипровідній системі живлення

напруги приймачів \dot{U}_{AP} , \dot{U}_{CP} збігаються за фазою з відповідними фазними напругами мережі.

Той факт, що сформований векторами \dot{I}_A , \dot{I}_C та \dot{I}_N трикутник є рівностороннім, свідчить про рівність модулів струмів у фазних та нульовому проводах

$$I_N = I_A = I_C = I, \quad (16)$$

а також про те, що струм \dot{I}_N випереджає за фазою струм \dot{I}_A на кут 60° .

Побудуємо векторну діаграму напруг лінії (рис. 4), сумістивши вектор \dot{U}_{AP} з віссю дійсних величин. Спад напруги $\dot{I}_A R_L$ в активному опорі фазного проводу збігається за фазою зі струмом навантаження \dot{I}_A , а спад напруги $\dot{I}_N R_N$ в активному опорі нульового проводу — зі струмом \dot{I}_N .

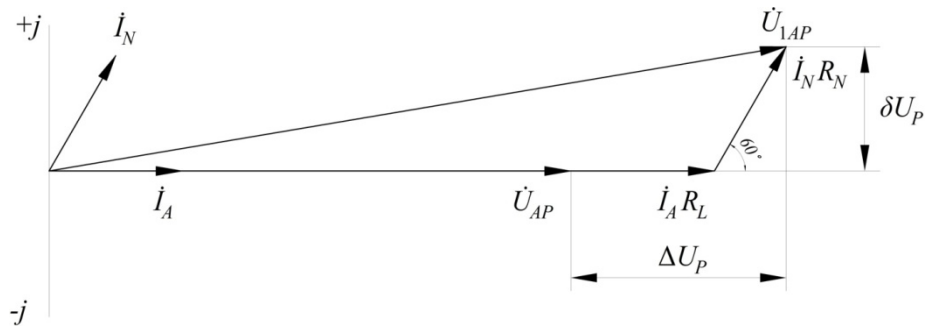


Рис. 4. Векторна діаграма напруг двофазної трипровідної системи живлення

Додавши спади напруг в активних опорах фазного та нульового проводів, отримаємо фазну напругу \dot{U}_{1AP} на початку лінії, яку можна виразити як

$$\dot{U}_{1AP} = \dot{U}_{AP} + \Delta U_P + j\delta U_P, \quad (17)$$

де ΔU_P — поздовжня складова спаду напруги; δU_P — поперечна складова спаду напруги.

Нехтуючи поперечною складовою спаду напруги δU_P , сумарну втрату напруги прирівнюємо поздовжній складовій

$$\Delta U_P = I_A R_L + I_N R_N \cos 60^\circ = 1,5 I R_L. \quad (18)$$

З урахуванням (14) сумарна втрата напруги, віднесена до фазної напруги,

$$\Delta U_P = 1,5 \left(\frac{P}{2U_P} \right) R_L = 0,75 \frac{P R_L}{U_P} = 1,3 \frac{P R_L}{U} \quad (19)$$

або з урахуванням (5)

$$\Delta U_P = 0,75 \frac{P}{U_P} \cdot \frac{\rho l}{F}. \quad (20)$$

Переріз проводів, який відповідає допустимій фазній втраті напруги, можна визначити з виразу

$$F = \frac{0,75 \rho P l}{\Delta U_{\text{lim}} U_P} = \frac{0,75 \rho P l}{\Delta U_{\text{lim}} \% U_P^2} 100 = \frac{225 \rho P l}{\Delta U_{\text{lim}} \% U^2}. \quad (21)$$

Обсяг провідникового матеріалу для двофазної трипровідної лінії живлення

$$V = 3 F l = \frac{675 \rho P l^2}{\Delta U_{\text{lim}} \% U^2}. \quad (22)$$

Сумарні втрати потужності у трипровідній лінії

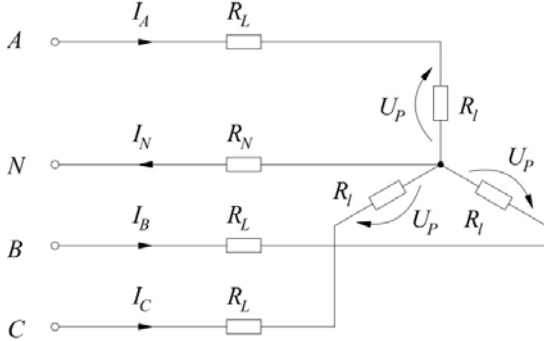
$$\Delta P = I_A^2 R_L + I_C^2 R_L + I_N^2 R_N = 3 I^2 R_L \quad (23)$$

або з урахуванням (14)

$$\Delta P = 3 \frac{P^2}{4U_P^2} R_L = \frac{9P^2}{4U^2} R_L = \frac{2,25P^2}{U^2} R_L. \quad (24)$$

Трифазна чотирипровідна система живлення з активним навантаженням

Запишемо вирази для розрахунку активних потужностей та струмів трьох рівномірно навантажених фаз трифазної чотирипровідної системи живлення, схема якої показана на рис. 5:



$$P_p = U_p I = \frac{P}{3}; \quad (25)$$

$$I_A = I_B = I_C = I; \quad (26)$$

$$I = \frac{P_p}{U_p} = \frac{P}{3U_p} = \frac{\sqrt{3}P}{3U} = 0,58 \frac{P}{U}. \quad (27)$$

За рівномірного навантаження фаз у трифазній системі живлення струм через нульовий провід не протікає ($I_N = 0$), тому втрата напруги у ньому відсутня. У фазному проводі втрату напруги, віднесу до фазної напруги, визначаємо як

$$\Delta U_p = IR_L = \frac{P}{3U_p} R_L = \frac{\sqrt{3}PR_L}{3U}. \quad (28)$$

Визначимо переріз проводів за умовою допустимої втрати фазної напруги:

$$\Delta U_p = \frac{P}{3U_p} \cdot \frac{\rho l}{F} = \Delta U_{lim}; \quad (29)$$

$$F = \frac{\rho Pl}{3\Delta U_{lim} U_p} = \frac{\rho Pl}{3\Delta U_{lim} \% U_p^2} 100 = \frac{100\rho Pl}{\Delta U_{lim} \% U^2}. \quad (30)$$

З урахуванням виразу (30) об'єм провідникового матеріалу для трифазної чотирипровідної системи живлення становить

$$V = 4Fl = \frac{400\rho Pl^2}{\Delta U_{lim} \% U^2}. \quad (31)$$

Сумарні втрати потужності у чотирипровідній системі живлення

$$\Delta P = 3I^2 R_L = 3 \frac{P^2}{9U_p^2} R_L = \frac{P^2}{U^2} R_L. \quad (32)$$

Результати порівняння розглянутих варіантів систем живлення низьковольтних електроприймачів за однакової сумарної потужності навантаження та її рівномірного розподілу подано в таблиці.

Порівняння варіантів систем живлення низьковольтних електроприймачів

Система живлення	Трифазна чотирипровідна	Двофазна трипровідна	Однофазна двопровідна
Потужність навантаження фаз	$P_p = \frac{P}{3}$	$P_p = \frac{P}{2}$	$P_p = P$
Фазний струм	$I = \frac{\sqrt{3}P}{3U}$	$I = \frac{\sqrt{3}P}{2U}$	$I = \frac{\sqrt{3}P}{U}$
Струм у нульовому проводі	$I_N = 0$	$I_N = I$	$I_N = I$
Сумарна втрата напруги у фазному і нульовому проводах	$\Delta U_p = \frac{0,58PR_L}{U}$	$\Delta U_p = \frac{1,3PR_L}{U}$	$\Delta U_p = \frac{3,46PR_L}{U}$

Система живлення	Трифазна чотирипровідна	Двофазна трипровідна	Однофазна двопровідна
Сумарні втрати потужності	$\Delta P = \frac{P^2}{U^2} R_L$	$\Delta P = \frac{2,25P^2}{U^2} R_L$	$\Delta P = \frac{6P^2}{U^2} R_L$
Переріз проводів	$F = \frac{100\rho Pl}{\Delta U_{\text{lim}} \% U^2}$	$F = \frac{225\rho Pl}{\Delta U_{\text{lim}} \% U^2}$	$F = \frac{600\rho Pl}{\Delta U_{\text{lim}} \% U^2}$
Кількість проводів	4	3	2
Об'єм провідникових матеріалів	$V = \frac{400\rho Pl^2}{\Delta U_{\text{lim}} \% U^2}$	$V = \frac{675\rho Pl^2}{\Delta U_{\text{lim}} \% U^2}$	$V = \frac{1200\rho Pl^2}{\Delta U_{\text{lim}} \% U^2}$

Вибрані за допустимою втратою напруги перерізи проводів повітряних ліній повинні задовольняти умовам нагрівання та механічної міцності. Згідно з таблицею 2.4.1 ПУЕ [1] на магістральних та лінійних відгалуженнях ПЛІ, що вводяться в експлуатацію, допускається застосування СПІ з мінімальним перерізом проводів 25 мм² для 1—3 районів за ожеледдю і 35 (25) мм² — для 4—6 районів. У дужках подано мінімальний переріз жил СПІ з чотирма утримними жилами. На лінійних вводах допускається застосування СПІ з перерізом жил 16 мм².

Виконаємо порівняння трифазного чотирипровідного лінійного відгалуження напругою 380/220 В довжиною 130 м з однофазним двопровідним відгалуженням у 4-му районі за ожеледдю за активного навантаження однофазних електроприймачів $P = 10$ кВт та допустимої втрати напруги $\Delta U_{\text{lim}} = 5$ %.

Переріз проводів, розрахований згідно з таблицею для однофазного відгалуження за значення питомого електричного опору $\rho = 31,5$ Ом·мм²/км, становить $F = 34$ мм², в той час, як для трифазного лінійного відгалуження — $F = 5,7$ мм², тобто ушестеро менший. За умовою механічної міцності для обох варіантів приймаємо провід з перерізом жил 35 мм². Таким чином, витрати провідникових матеріалів для трифазної чотирипровідної лінії будуть удвічі перевищувати витрати матеріалів на однофазну лінію, хоча при цьому втрати потужності та втрата напруги порівняно з однофазною лінією суттєво зменшаться. Крім того, трифазні лінії мають значно більшу пропускну здатність і граничну довжину із заданою потужністю навантаження.

Визначимо граничну довжину трифазної чотирипровідної лінії для заданих вище умов. Втрата фазної напруги у вольтах на 1 км трифазної лінії з проводом СПІ-2 3×35 + 1×35

$$\Delta U_{0,P} = \frac{Pr_0 \cdot 10^3}{\sqrt{3}U} = \frac{10 \cdot 0,868 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 13,2 \text{ В/км,}$$

де r_0 — погонний активний опір 1 км лінії, взятий з довідника.

У відсотках на 1 км отримаємо

$$\Delta U_{0,P} \% = \frac{\Delta U_{0,P}}{U_P} 100 = \frac{13,2}{220} 100 = 6 \frac{\%}{\text{км}}.$$

Гранична довжина лінії, яка відповідає допустимій втраті напруги,

$$l_{\text{lim}} = \frac{\Delta U_{\text{lim}} \%}{\Delta U_{0,P} \%} = \frac{5}{6} = 0,833 \text{ км.}$$

Аналогічно можна визначити граничну довжину однофазної лінії. На рис. 6, 7 зображені графічні залежності граничної довжини трифазної та однофазної повітряних ліній з проводом марки СПІ-2 від активної потужності навантаження за значення $\Delta U_{\text{lim}} = 5$ %.

Застосування однофазних та двофазних трипровідних відгалужень дає економію провідникових матеріалів порівняно з трифазним лінійним відгалуженням, переріз проводів якого потрібно збільшувати за умовою механічної міцності. Оптимальний варіант системи живлення слід вибирати на підставі техніко-економічного розрахунку залежно від потужності навантаження, довжини лінії та допустимої втрати напруги.

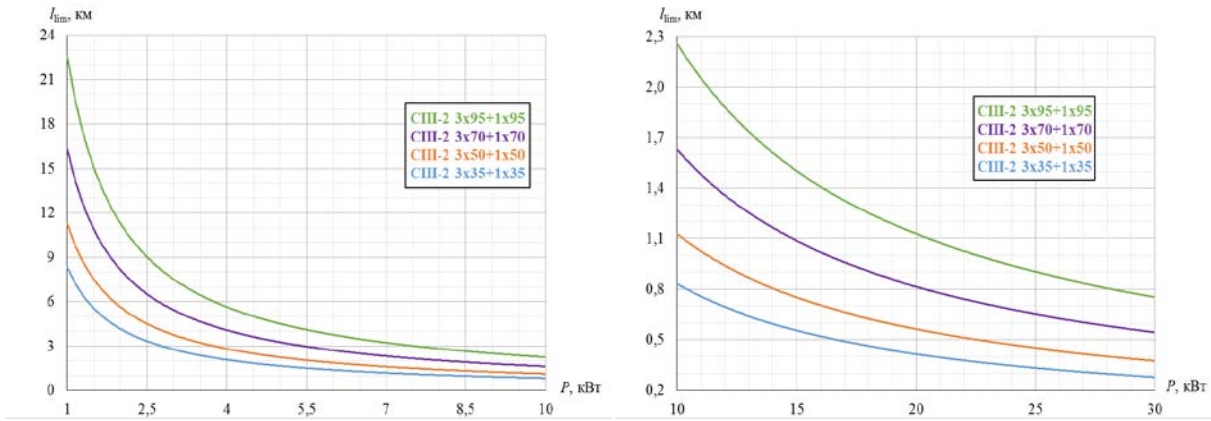


Рис. 6. Графічні залежності граничної довжини трифазних чотирипровідних ліній з проводом марки СИП-2 від активної потужності навантаження

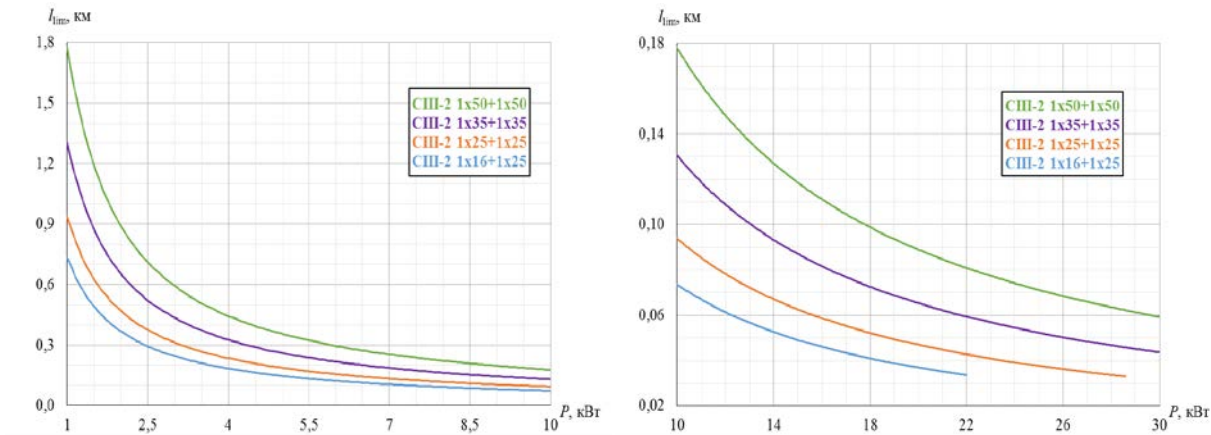


Рис. 7. Графічні залежності граничної довжини однофазних двопровідних ліній з проводом марки СИП-2 від активної потужності навантаження

Висновки

1. При переході від трифазної чотирипровідної системи живлення однофазних електроприймачів до однофазної двопровідної чи двофазної трипровідної системи за однакової сумарної потужності навантаження та рівномірного навантаження фаз з перерізами проводів, вибраних за допустимою втратою напруги, втрати потужності та втрата фазної напруги в лінійних відгалуженнях залишаються незмінними у зв'язку з відповідним зменшенням їх активних опорів.

2. Показано, що застосування однофазних та двофазних відгалужень дає економію провідникових матеріалів порівняно з трифазним лінійним відгалуженням, переріз проводів якого потрібно збільшувати за умовою механічної міцності.

3. Розраховано граничні довжини трифазних і однофазних повітряних ізолюваних ліній, які відповідають допустимій втраті напруги, залежно від активної потужності навантаження. Показано, що гранична довжина трифазних лінійних відгалужень значно перевищує граничні довжини однофазних і двофазних відгалужень за однакової потужності навантаження.

4. Оптимальний варіант системи живлення потрібно вибирати на підставі техніко-економічного розрахунку залежно від потужності навантаження, довжини лінії та допустимої втрати напруги.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Міненерговугілля України. *Правила улаштування електроустановок*: 6-те вид., перероблене та доповнене. Київ, Україна, 2017, 617 с.
- [2] А. А. Глазунов, и А. А. Глазунов, *Электрические системы и сети*, учеб. пос. Москва: ГЭИ, 1960, 368 с.
- [3] И. А. Будзко, *Электрические сети*, 3-е изд., переработанное и дополненное. Москва: Колос, 1967, 328 с.
- [4] Л. И. Петренко, *Электрические сети и системы*. Киев: Вища школа, 1981, 320 с.
- [5] В. М. Блок, *Электрические сети и системы*. Москва: Высшая школа, 1986, 432 с.
- [6] S. Leschenko, "Single-phase loads distribution in a three-phase low-voltage network," in *11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation*, Lisbon, 2011, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/EPQU.2011.6128935>.

[7] J. Cristina Oliveira Fandi, J. Rubens Macedo, I. Nogueira Gondim, J. Carlos Oliveira and G. Caixeta Guimaraes, "Two-Wire Distribution System for Power Supply to Three-Phase Rural Facilities," in *IEEE Latin America Transactions*, vol. 12, no. 2, pp. 182-189, March 2014, <https://doi.org/10.1109/TLA.2014.6749536>.

[8] J. Nuno Fidalgo, C. Moreira and R. Cavalheiro, "Impact of Load Unbalance on Low Voltage Network Losses," in *2019 IEEE Milan PowerTech*, Milan, Italy, 2019, pp. 1-5, <https://doi.org/10.1109/PTC.2019.8810710>.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 5.03.2021

Романюк Юрій Федорович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, e-mail: romanjyjf@ukr.net ;

Соломчак Олег Володимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, e-mail: solomchak@ukr.net ;

Грabcук Богдан Лук'янович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, e-mail: bohdan.hrabchuk@nung.edu.ua ;

Савчин Олег Іванович — студент Інституту архітектури, будівництва та енергетики.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ

Yu. F. Romaniuk¹
O. V. Solomchak¹
B. L. Grabchuk¹
O. I. Savchyn¹

Determination of Power Supply System for Low Voltage Single Phase Electric Consumers of Overhead Power Lines 220/380 V

¹Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Two-phase three-wire and single-phase two-wire branches from main three-phase lines are integral components of three-phase four-wire systems. Therefore, the aim of this work is to choose the optimal power supply system for single-phase electrical receivers depending on their power and branch length. The comparison of single-, two- and three-phase power supply systems of single-phase electric receivers is carried out and analytical expressions are obtained to determine power losses, phase voltage loss and wire cross section for allowable voltage loss at the same total active load power and its equal distribution between phases. Based on the obtained expressions, the total power losses, voltage loss in phase and neutral wires for different power supply systems are analyzed. In the transition from a three-phase four-wire power supply system of single-phase electric receivers to a single-phase two-wire or two-phase three-wire system with the same total load power and equal load phases with wire cross sections selected for allowable voltage loss, power loss and phase voltage with a corresponding decrease in their active resistance. It is shown that in some cases the use of single-phase and two-phase branches saves conductive materials in comparison with the three-phase linear branch, the cross section of which is inflated due to the need to ensure the condition of mechanical strength. The dependences of the limiting length of three-phase and single-phase overhead insulated lines, which corresponds to the allowable voltage loss, on the active load power are calculated. It is shown that the limiting length of three-phase linear branches significantly exceeds the limiting lengths of single-phase and two-phase branches at the same load power. The optimal version of the power supply system should be selected on the basis of technical and economic calculation depending on the load capacity, line length and allowable voltage loss.

Keywords: overhead line, single-phase, two-phase, power supply system, single-phase electric receiver, maximum length of overhead lines.

Romaniuk Yuri F. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, e-mail: romanjyjf@ukr.net ;

Solomchak Oleh V. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, e-mail: solomchak@ukr.net ;

Grabchuk Bogdan L. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, e-mail: bohdan.hrabchuk@nung.edu.ua;

Savchyn Oleh Ivanovych — Student of the Institute of Architecture, Construction and Energy

Ю. Ф. Романюк¹
О. В. Соломчак¹
Б. Л. Грабчук¹
О. И. Савчин¹

Выбор системы питания низковольтных однофазных электроприемников воздушных линий напряжением 220/380 В

¹Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

Двухфазные трехпроводные и однофазные двухпроводные ответвления от магистральных трехфазных линий являются неотъемлемыми составляющими трехфазных четырехпроводных систем. Поэтому целью этой работы является выбор оптимальной системы питания однофазных электроприемников в зависимости от их мощности и длины ответвления. Проведено сравнение одно-, двух- и трехфазной систем питания однофазных электроприемников и получены аналитические выражения для определения потерь мощности, потери фазного напряжения и сечения проводов по допустимой потере напряжения с одинаковой суммарной активной мощностью нагрузки и равномерного ее распределения между фазами. На основании полученных выражений проанализировано, как изменяются суммарные потери мощности, потеря напряжения в фазных и нулевом проводах при различных системах питания. При переходе от трехфазной четырехпроводной системы питания однофазных электроприемников к однофазной двухпроводной или двухфазной трехпроводной системе с одинаковой суммарной мощностью нагрузки и равномерной нагрузкой фаз с сечением проводов, выбранных по допустимой потере напряжения, потери мощности и потеря фазного напряжения в линейных ответвлениях остаются неизменными в связи с соответствующим уменьшением их активных сопротивлений. Показано, что в ряде случаев применение однофазных и двухфазных ответвлений дает экономию проводниковых материалов по сравнению с трехфазным линейным ответвлением, сечение проводов которого является завышенным из-за необходимости обеспечения условия механической прочности. Рассчитаны зависимости предельной длины от активной мощности нагрузки трехфазных и однофазных воздушных изолированных линий, которые соответствуют допустимой потере напряжения. Показано, что предельная длина трехфазных линейных ответвлений значительно превышает предельные длины однофазных и двухфазных ответвлений при одинаковой мощности нагрузки. Окончательный вариант системы питания должен выбираться на основании технико-экономического расчета в зависимости от мощности нагрузки, длины линии и допустимой потери напряжения.

Ключевые слова: воздушная линия, однофазная, двухфазная, система питания, однофазный электроприемник, предельная длина воздушных линий.

Романюк Юрий Федорович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электроэнергетики, электротехники и электромеханики, e-mail: romanjukjf@ukr.net ;

Соломчак Олег Владимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электроэнергетики, электротехники и электромеханики, e-mail: solomchak@ukr.net ;

Грабчук Богдан Лукьянович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электроэнергетики, электротехники и электромеханики, e-mail: bohdan.hrabchuk@nung.edu.ua ;

Савчин Олег Иванович — студент Института архитектуры, строительства и энергетики