

Винахід належить до галузі електротехніки та може бути використаний в електротехнічних пристроях різноманітного призначення, що вимагають стабілізації величини струму та характеризуються широким діапазоном зміни опору навантаження та частими обривами кода струму навантаження, зокрема в електротермії для установок електродугового нагрівання, зварювання тощо.

Відомі установки стабілізації струму навантаження, що містять реактор, конденсаторну батарею (реактивні опори яких вибрані з умови резонансу на частоті напруги джерела живлення, тобто рівні між собою, які забезпечують стабілізацію струму навантаження в діапазоні зміни опору навантаження від його значення при короткому замиканні до номінального [див. А.П.Мілях, І.В. Волков, Система переменного тока на основе индуктивно-емкостных преобразователей. К.: Наукова думка, 1974, - с.7].

Такі установки мають підвищену встановлену потужність реактивних елементів в режимі неробочого ходу (під час обриву кола струму навантаження) внаслідок різкого збільшення напруги на конденсаторній батареї та реакторі.

Відома також установка стабілізації струму навантаження, яка містить перший реактор, конденсаторну батарею і навантаження, з'єднані в зірку з виводами для підключення джерела живлення, дросель, з'єднаний з конденсаторною батареєю, а також резистор увімкнений послідовно з дроселем. Причому реактивні опори першого реактора та конденсаторної батареї вибрані рівними на частоті мережі живлення. Опір резистора становить 0,1-0,3 від опору конденсаторної батареї.

Однак, як показав аналіз властивостей схеми прототипу при наявності у гілці навантаження великої індуктивності, зокрема під час живлення дугових сталеплавильних печей, схема прототипу характеризується підвищеною встановленою потужністю першого реактора, конденсаторної батареї в нормальному режимі, а в режимі неробочого ходу навантаження напруга на конденсаторній батареї перевищує більш ніж в 2 рази номінальну її напругу, а діюче значення струму конденсаторної батареї майже в 4 рази перевищує її номінальний струм. Кидки струму дроселя є 70 кратними по відношенню до номінального його струму намагнічення, що є небезпечним для обладнання установки стабілізації струму навантаження. Це обумовлено виникненням ферорезонансних явищ на ультрагармоніці 2-го порядку (по відношенню до частоти джерела живлення), а також виникненням субгармонійних складових коливань струмів та напруг елементів установки стабілізації струму навантаження, які супроводжують явища ферорезонансу (Фіг.4).

В основу винаходу поставлено завдання створення установки стабілізації струму навантаження, у якій введення додаткових елементів дозволило б забезпечити обмеження амплітуди струму конденсаторної батареї та дроселя і за рахунок цього зменшити сумарну встановлену потужність елементів установки.

Поставлене завдання вирішується тим, що в установку стабілізації струму навантаження, яка містить перший реактор, конденсаторну батарею і навантаження, з'єднані в зірку з виводами для підключення джерела живлення, дросель, з'єднаний з конденсаторною батареєю, а також резистор увімкнений послідовно і дроселем, згідно з винаходом з метою зменшення встановленої потужності реактора і конденсаторної батареї та обмеження амплітуди струму і напруги конденсаторної батареї та дроселя в режимі неробочого ходу навантаження додатково внесено другий та третій реактори, причому другий реактор сполучений послідовно з конденсаторною батареєю, третій реактор сполучений послідовно з резистором, а реактивний опір конденсаторної батареї у 2-5 разів більший реактивного опору першого реактора, індуктивний опір другого реактора складає 0,1-0,2 від реактивного опору конденсаторної батареї, індуктивний опір третього реактора складає 0,15-0,3 від реактивного опору конденсаторної батареї, причому, опір резистора становить 0,03-0,1 від реактивного опору конденсаторної батареї.

Розстроєнням резонансного контуру, що утворюється першим реактором та конденсаторною батареєю установки стабілізації струму навантаження за умови, що реактивний опір конденсаторної батареї у 2-5 разів більший реактивного опору першого реактора, досягнуто зменшення їх встановленої потужності в нормальному режимі, а введенням додаткових реакторів досягнуто обмеження амплітуди струмів конденсаторної батареї та дроселя в режимі неробочого ходу навантаження, що дозволяє зменшити сумарну встановлену потужність елементів установки.

На Фіг.1 зображена електрична схема установки стабілізації струму навантаження, на Фіг.2 зображені графіки функцій струмів першого реактора і конденсаторної батареї від резистансу навантаження для випадку роботи установки стабілізації струму навантаження на дугову сталеплавильну піч з трансформаторним агрегатом ЕТЦН-13500/10. На Фіг.3 зображені часові діаграми струмів та напруг елементів установки стабілізації струму навантаження, на Фіг.4 зображені часові діаграми струмів та напруг елементів схеми прототипу, де 1 - перший реактор, 2 - конденсаторна батарея, 3 - дросель, 4 - резистор, 5 - резистор навантаження, 6 - індуктивний опір навантаження, 7 - другий реактор, 8 - третій реактор, 9 - струм першого реактора в схемі винаходу, 10 - струм конденсаторної батареї в схемі винаходу, 11 - струм першого реактора в схемі прототипу, 12 - струм конденсаторної батареї в схемі прототипу, 13 - струм дроселя, 14 - струм конденсаторної батареї, 15 - напруга конденсаторної батареї, 16 - струм першого реактора, 17 - струм дроселя, 18 - струм конденсаторної батареї, 19 - напруга конденсаторної батареї, 20 - струм першого реактора.

Установка стабілізації струму навантаження складається зі з'єднаних в зірку першого реактора 1, конденсаторної батареї 2, ємнісний опір якої в 2-5 разів більший індуктивного опору першого реактора 1, а також вітки з активним 5 та індуктивним 6 опорами навантаження, а також другого реактора 7 увімкненого послідовно з конденсаторною батареєю 2 та індуктивним опором, що складає 0,1-0,2 від реактивного опору конденсаторної батареї 2, вітки з послідовно сполученими дроселем 3, резистором 4 опір якого становить 0,03-0,1 від реактивного опору конденсаторної батареї 2 та третього реактора 8, реактивний опір якої складає 0,15-0,3 від реактивного опору конденсаторної батареї 2, під'єднаної паралельно до вітки з конденсаторною батареєю 2 та другим реактором 7 (Фіг.1).

Установка працює так. При зміні активного опору 5 навантаження від нуля до номінального значення струм першого реактора 1 зменшується, а струм конденсаторної батареї 2 зростає (Фіг.2). При цьому струм вітки навантаження з елементами 5,6 залишається практично незмінним. При зміні активного опору 5 навантаження від номінального значення і до значення під час обриву кола навантаження дросель 3 насичується і частково обмежує амплітуду струму та напруги конденсаторної батареї 2. Але за рахунок

навантаженні паралельного контуру, який утворюється конденсаторною батареєю 2 та нелінійним дроселем 3, виникають ферорезонансні явища, що супроводжуються збільшенням напруг та струмів елементів установки стабілізації струму навантаження понад допустимі значення. За рахунок уведення в схему другого 7 та третього 8 реакторів вдається повністю уникнути ферорезонансних явищ (Фіг.3).

Параметри реактора та конденсаторної батареї підбрані таким чином, щоб забезпечити в схемах прототипу  $X_L$ - $X_C$  та винаходу  $X_C=5X_L$  при номінальному значенні резистанса навантаження ( $R_{ном}=8\text{мОм}$ ) струму навантаження  $I_{нав}=19,5$  (кА), що відповідає номінальному струму печі. При цьому потужність, що виділяється на резисторі навантаження при номінальному резистансі навантаження буде рівною:  
 $P_{нав}=0,008*19,5^2=3,03$  (МВт)

Встановлена потужність реактора визначається за формулою:

$$Q_L = X_L * I_{L(0+R_{ном})}^{\max}$$

де:  $I_{L(0+R_{ном})}^{\max}$  - найбільше значення струму реактора в діапазоні зміни резистансу навантаження від 0 до  $R_{ном}$ .

Для схеми прототипу ( $X_L=X_C$ ) потужність реактора

$$Q_L = 8,48*0,684^2 = 4 \text{ (МВ*А)}$$

Аналогічно визначається встановлена потужність конденсаторної батареї для резонансної схеми ( $X_L=X_C$ )

$$Q_C = X_C * I_{L(0+R_{ном})}^{\max} = 8,48*0,676^2 = 3,9 \text{ (Мвар)}$$

Відносна сумарна встановлена потужність реактора та конденсаторної батареї:

$$Q_{LC\Sigma}^* = \frac{Q_L + Q_C}{P_{нав}} = \frac{4 + 3,9}{3,03} = 2,53$$

Для схеми винаходу  $X_C=5X_L$  встановлена потужність реактора

$$Q_L = 3,04*0,599^2 = 1,1 \text{ (МВ*А)}$$

Конденсаторної батареї

$$Q_C = 15,23*0,371^2 = 2,15 \text{ (Мвар)}$$

Відносна сумарна встановлена потужність елементів нерезонансної схеми:

$$Q_{LC\Sigma}^* = \frac{Q_L + Q_C}{P_{нав}} = \frac{1,1 + 2,15}{3,03} = 1,05$$

Як показав проведений розрахунок, встановлена потужність реактора 1 та конденсаторної батареї 2 установки стабілізації струму навантаження: при зміні резистансу навантаження від нуля до номінального значення в схемі винаходу ( $X_C=5X_L$ ) зменшується майже в 2,5 рази у порівнянні зі схемою прототипу ( $X_C=X_L$ ).

Як підтверджено експериментами на цифровій математичній моделі, індуктивний опір другого реактора 7 повинен знаходитись в межах 0,1-0,2 від реактивного опору конденсаторної батареї 2 для ефективного усунення ферорезонансних явищ. Як видно з Фіг.3, застосування другого 7 та третього 8 реакторів дозволило повністю уникнути ферорезонансних явищ. Напруга на конденсаторній батареї установки стабілізації струму зменшилась в 2 рази, діюче значення струму КБ не перевищує номінальний струм більш, ніж на 30%.

Для визначення встановлених потужностей елементів установки стабілізації струму навантаження, виконаної за схемами винаходу та прототипу з допомогою цифрової математичної моделі здійснено гармонічний аналіз кривих (Фіг.3, 4) та обчислені діючі значення відповідних параметрів режиму (табл.1).

Таблиця 1

Параметри режиму установки стабілізації струму навантаження в режимі неробочого ходу

Параметр режиму	Схема винаходу	Схема прототипу
Діюче значення струму канд. Батареї, $I_{кб}$ , А	466	1190
Діюче значення струму першого реактора, $I_p$ , А	310	1000
Діюче значення струму дроселя, $I_{шр}$ , А	53	370
Діюче значення напруги дроселя, $U_{шр}$ кВ	6,1	9,1
Номінальне амплітудне значення напруги конденсаторної батареї, кВ	9,6	7,99

На підставі отриманих (табл.1) значень параметрів режиму обчислено встановлені потужності (табл.2) установки стабілізації струму навантаження, виконаної за схемами винаходу і прототипу.

Таблиця 2

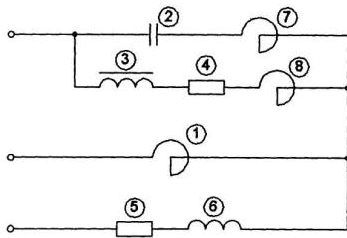
Встановлені потужності елементів установки стабілізації струму навантаження

Назва	Схема винаходу	Схема прототипу
Відносна встановлена потужність першого реактора, $Q_p^*$	0,36	1,0
Відносна встановлена потужність конденсаторної батареї, $Q_{кб}^*$	1,27	6,1
Відносна встановлена потужність дроселя, $Q_{шр}^*$	0,11	1,12
Відносна встановлена потужність резистора, $P_{рез}^*$	0,0003	0,02
Відносна встановлена потужність другого реактора, $Q_{фр}^*$	0,22	-
Відносна встановлена потужність третього реактора, $Q_{інд}^*$	0,0035	-

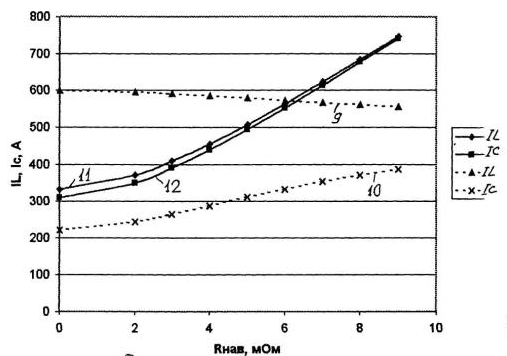
Відносна сумарна встановлена потужність елементів схеми установки стабілізації струму навантаження, $Q_{LCRZ}^*$	1,96	8,24
--	------	------

Як видно з таблиці 2, в режимі неробочого ходу навантаження відносна сумарна встановлена потужність елементів схеми винаходу складає 1,96 від номінальної потужності навантаження, що є в 4 рази меншим, ніж в схемі прототипу.

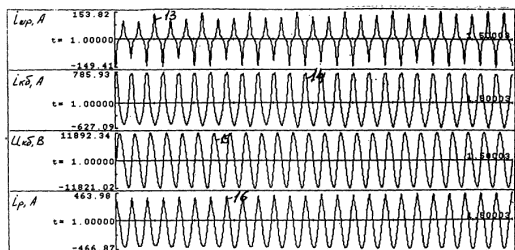
Установка стабілізації струму навантаження може бути виготовлена на базі промислового електротехнічного обладнання.



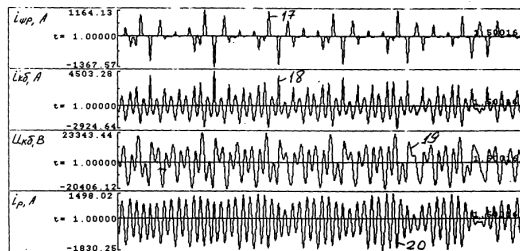
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4