

РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ІНДУКЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

Перетятко Ю.В., к.т.н, доцент

НТУУ «КПІ», кафедра теоретичної електротехніки

Майстренко Л.Ю., студент

НТУУ «КПІ», кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

Кравець Д.М., студент

НТУУ «КПІ», кафедра електромеханічного обладнання енергоємних виробництв

Вступ. На сьогоднішній час розвиток сучасного виробництва і збільшення споживчого попиту на вироби, виготовлені з металу, сформували поштовх в області термообробки як кольорових, так і чорних металів.

За останні роки проводилось не одне дослідження процесів переплавки металів індукційними установками, які живляться від джерела напруги [1-3]. Ці роботи дозволили вирішити ряд проблем переробки металів. Серед них розробка джерел із гнучкими характеристиками та постійним рівнем потужності, яка забезпечує використанні індукційної плавки із повним зливом металів [3]. Однак використання такого способу плавки в установках високої потужності та для індукційної плавки великих об'ємів має ряд перешкод. Тому промислові потреби задовольняються за рахунок використання індукційних установок промислової частоти (50 – 60 Гц) із використання “болота”, тобто процесу плавки при якому частина рідкого металу залишається в установці після зливу.

Наряду з цим, проведені дослідження та практичний досвід показали, що нагрівання металу призводить до збільшення власного питомого опору стрибком у 4-10 разів [1]. Таким чином вибір максимальної потужності пов'язаний із необхідністю врахування характеру зміни опору металу, який підлягає термообробці, тобто збільшення опору повинно враховуватись в законах регулювання параметрів установки. А отже постає необхідність встановити закономірність пропорційної зміни напруги живлення із зміною опору металу.

Більш складною задачею є регулювання параметрів індукційної установки для врахування електричного опору контактів між твердими шматками металу вторинної сировини. У такому випадку необхідно враховувати те, що перехідний опір контакту є результатом зменшення площі місця контакту і збільшення щільності струму в цих точках, тому загальний опір навантаження (металобрухту) залежить як від опору кожного шматка брухту окремо, так і від щільності контактів між шматками металу. Як результат при індукційній термообробці металевої сировини, електричний опір об'єму металобрухту на початку плавки збільшується стрибком, що веде до зменшення щільності струму у металобрухті. Різке зменшення сили струму унеможливорює початок плавки, через недостатність потужності. Постає

питання щодо пошуку можливостей збільшення величини струму через навантаження для розплавлювання металу.

Дослідження перехідного опору контакту від температури показали [1], що з ростом температури перехідний опір спочатку зростає до значення температури, при якій відбувається розм'якшення матеріалу контактних поверхонь. Потім, при незмінному натисканні розм'якшених шматків металобрухту, збільшуються площі контактування і перехідний опір різко падає. Далі, досягнувши температури плавлення матеріалу, він знову зростає лінійно із зростанням температури та при розплавленні металобрухту спостерігається зменшення опору.

З вище наведеного доходимо висновку, що для якісної промислової переплавки вторинної металевої сировини необхідне регулювання параметрів індукційної установки з метою стабілізації потужності: на початку плавки збільшення температури веде до збільшення опору металобрухту, тому для досягнення температури плавлення металу необхідна стабілізація потужності, яка реалізується шляхом збільшення вхідної напруги або зменшення вхідного струму; досягнення температури плавлення веде до різкого зменшення опору навантаження (металобрухту), відповідного для підтримання потужності необхідно зменшувати напругу. Також слід пам'ятати про низький коефіцієнт потужності ($\cos \varphi = 0.03 - 0.1$), який потребує компенсації.

Постановка задачі. Метою даної роботи є пошук умов стабілізації потужності індукційної установки з урахуванням зміни повного опору навантаження від температури.

Матеріали і результати досліджень. Реалізація резонансних режимів для компенсації реактивної потужності, а отже зменшення величини вхідного струму, в установках із змінним від температури опором навантаження, дозволяє здійснювати стабілізацію потужності.

Створюючи схему заміщення, задачу компенсації реактивної потужності зручно звести до задачі компенсації реактивного опору індуктора за допомогою конденсаторних батарей, для розв'язку якої варто скористатись схемою заміщення з паралельно з'єднаними гілками. Таке рішення пов'язане з рядом умов. По-перше, при вторинній переплавці металевої сировини важливо урахування зміни опору навантаження (металобрухту) R_H перерахованого в коло індуктивності $R_{екв} = R_L + R_H$.

По-друге, слід урахувати характер зміни перехідного контактного опору між шматками металобрухту з підвищенням температури.

По-третє, в контурі навантаження має місце суттєвий індуктивний характер, тому в установках використовуються компенсуючі конденсатори. При паралельному з'єднанні індуктора з навантаженням та компенсуючої батареї конденсаторів, струм в навантаженні досягає високих значень при резонансі, тим самим покращуючи умови розплавлення металу. Досягти резонансу можливо, враховуючи зміну величини опору $R_{екв}$ і регулюючи величину еквівалентної ємності компенсуючи конденсаторних батарей.

В свою чергу зміни опору навантаження суттєво впливають на узгодженість роботи індуктивної установки з навантаженням (металобрухтом), що пов'язано з узгодженістю режимів споживання електричної енергії у навантаженні. Це вимагає проведення ряду досліджень щодо оптимізації параметрів індукційної установки для отримання у навантаженні необхідних значень струмів та потужностей.

Схему заміщення індуктора (рис. 1) можна зобразити у вигляді послідовного з'єднання еквівалентних індуктивності котушки L , активного опору R_L , який відповідає за теплові втрати, за умови, що ємності між витками котушки нехтовно малі і не враховуються при розрахунках опору навантаження металевго брухту R_H . Паралельно до гілки з індуктором підімкнена гілка з активним опором шинопроводу (R_C), що з'єднує компенсуючі конденсатори з контуром навантаження.

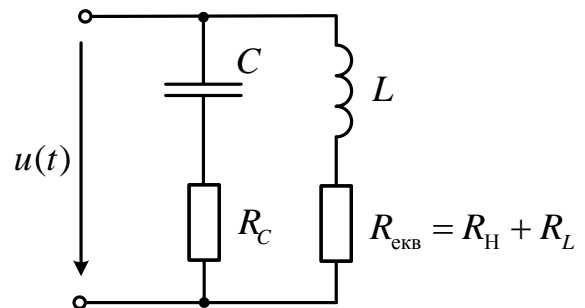


Рисунок 1 – Паралельний контур

Умова резонансу для паралельного контуру на рис. 1 має вигляд:

$$B_L = B_C, \quad \frac{X_L}{R_{\text{екв}}^2 + X_L^2} = \frac{X_C}{R_C^2 + X_C^2} \Rightarrow \frac{\omega L}{R_{\text{екв}}^2 + (\omega L)^2} = \frac{1/\omega C}{R_C^2 + (1/\omega C)^2}. \quad (1)$$

З отриманого виразу зрозуміло, що резонансу в такому колі можна досягти, змінюючи одну з п'яти величин: ω , L , C , $R_{\text{екв}}$, R_C .

Для компенсації реактивної потужності, встановимо умови розв'язку рівності (1), як $\omega = \text{const}$, $L = \text{const}$, $R_C = \text{const}$, $R_{\text{екв}} = R_L + R_H$, де R_H – опір шматків металобрухту (з урахуванням перехідного контактного опору), значення якого змінюється при нагріванні. А можливість регулювання частотою, для досягнення резонансного режиму, була відхилена, оскільки при переплаві металобрухту у великих об'ємах на високих частотах має місце поверхневий ефект.

Тому розв'язок рівняння (1) відносно ємності має вигляд:

$$C_{\text{рез}} = \frac{R_{\text{екв}}^2 + X_L^2 \pm \sqrt{(X_L)^4 - (2X_L R_C)^2 + 2(X_L R_{\text{екв}})^2 + R_{\text{екв}}^4}}{2\omega X_L R_C^2}. \quad (2)$$

Слід зауважити, що резонанс неможливий, якщо значення змінного параметру при його визначенні з рівняння (1) прийме від'ємне або комплексне число. Аналіз допустимих значень параметрів, за яких можлива компенсація реактивного опору індуктивності.

Виходячи з отриманого співвідношення (2), необхідною та достатньою умовою можливості компенсації є додатне значення підкореневого виразу:

$$X_L^4 - (2X_L R_C)^2 + 2(X_L R_L)^2 + R_L^4 \geq 0. \quad (3)$$

Розв'язок даної біквдратної нерівності дає множину співвідношень між параметрами кола.

Виконавши розв'язок біквдратної нерівності (3) за умови $R_{\text{екв}} \neq 0$ знаходимо розв'язок у вигляді:

$$R_C > 0; X_L > 0; \omega L \in (0; 2R_C); \frac{R_C}{R_{\text{екв}}} \in (0; \sqrt{2}). \quad (4)$$

Два розв'язки біквдратного рівняння існують лише тоді, коли дискримінант рівняння строго більше за нуль.

На рисунку рис. 2 представлені залежності величин резонансної ємності, як двох розв'язків співвідношення (2) у вигляді $C_{\text{рез}}^+$ та $C_{\text{рез}}^-$, при зміні опору навантаження з урахуванням активного опору індуктора.

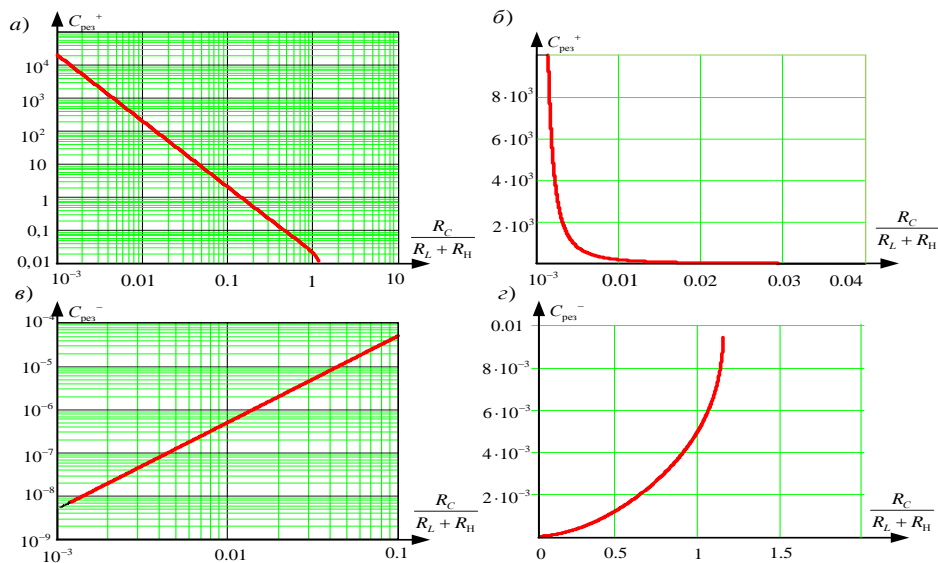


Рисунок 2– Залежності величин резонансної ємності

Аналіз залежностей рис. 2, а) та рис. 2, в) показує, що при зміні еквівалентного опору навантаження на порядок, величина резонансної ємності збільшується на два порядки. Із залежностей на рис. 2 б) та г) видно строге виконання умов (4).

Висновки. Аналіз впливу зміни величини повного опору кола індуктора на значення ємностей компенсуючи конденсаторів дозволив встановити:

- ефективність використання паралельної схеми заміщення;
- множину співвідношень між параметрами кола, за яких можлива компенсація реактивного опору індуктивності;
- закон зміни ємності компенсуючого конденсатора з урахуванням зміни повного опору кола індуктивності.

Перелік посилань

1. <http://elektrik.info/main/fakty/298> - kak - izmeryaetsya – soprotivlenie – pri – nagreve - metallov. html
2. Волков.А.И., Жарский. И.М. Большой химический справочник. - М: Советская школа, 2005. - 608 с.
3. Алексеев Т.А. Индукционная плавка с полным сливом металла (www.sdmpress.ru)