

## Трифазни заваръчни токоизточници с индуктивно-капацитивна стабилизация. Сравнение и насока за оптимизация.

Г.Р.Георгиев, Т.М.Стоянова, И.С.Цветков, Д.В.Кирияков

*Summary: Two basic fundamental solutions for inductive and capacitive current stabilizers (parametric power sources) were comparatively reviewed, with a view of use in arc welding. As a result of the analysis the relative advantages of each of these solutions were established. The concept of circuits operation at increased frequency, aimed at reduction of mass-dimensional indices, was afterwards analyzed.*

*Keywords: inductive and capacitive stabilization, parametric power sources, transformer, arc welding, performance factor, welding arc elasticity.*

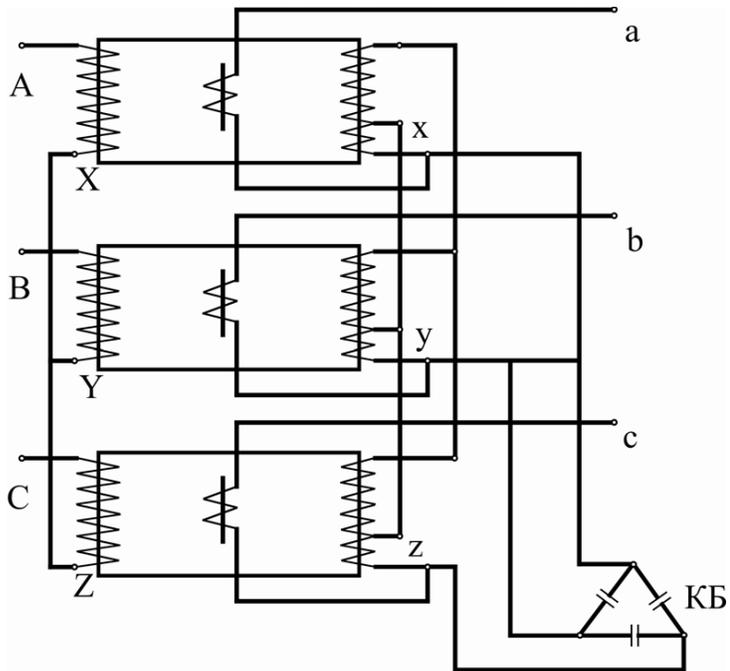
Индуктивно-капацитивната стабилизация на тока се прилага най-вече при големи мощности и токове и при тежки работни режими. Тогава електронните стабилизиращи схеми са по-трудно елементно осигурявани, цената и ненадеждността им се повишават. Такива са в работните режими на хранящите токоизточници при електродъговото заваряване. Което определя тази област като добро поле за използването на индуктивно-капацитивните стабилизатори (ИКС). Понякога те се наричат параметрични източници на ток (ПИТ) и общо се състоят от преобразувател на неизменното напрежение на мрежата в неизменен ток (източник на ток), който действа като резонансен стабилизатор на ток и съгласуващ трансформатор.

Ценното качество на тази категория стабилизатори - подобрените (оптимизирани) масогабаритни показатели, се постига при обединяване на съгласуващия трансформатор с дросела на стабилизатора. Съгласуващият трансформатор изолира от мрежата заваръчната дъга и ограничава напрежението на празен ход, без да води до прекалено нарастване на тока, консумиран от мрежата, при прекъсване на дъгата. Основното преимущество на заваръчен процес, хранен от подобен източник е значително по-голямата стабилизация на заваръчния ток. Което води до повишаване на т.н. еластичност на заваръчната дъга (възможност за нейното по-голямо «разтягане»), и оттам по-трудно прекъсване на дъгата.

От повишената еластичност следват технологичните подобрения на процеса на заваряване. Обобщено се изразяват в намалено количество пръски при заваряване (оттам по-малък разход на метал и по-добро качество на заваръчния шев) и по-малко шупли (т.е. по-голяма здравина). Важно предимство на този тип токоизточници е по-добрият им фактор на мощността (в сравнение с класическите трансформатори за заваряване). Това е лесно обяснимо с участието на капацитивни елементи, като важна част от индуктивно-капацитивните стабилизатори. Така в някои режими на работа се постига капацитивен по характер фактор на мощността, което води до компенсация на реактивна мощност и подобряване на  $\cos \varphi$ .

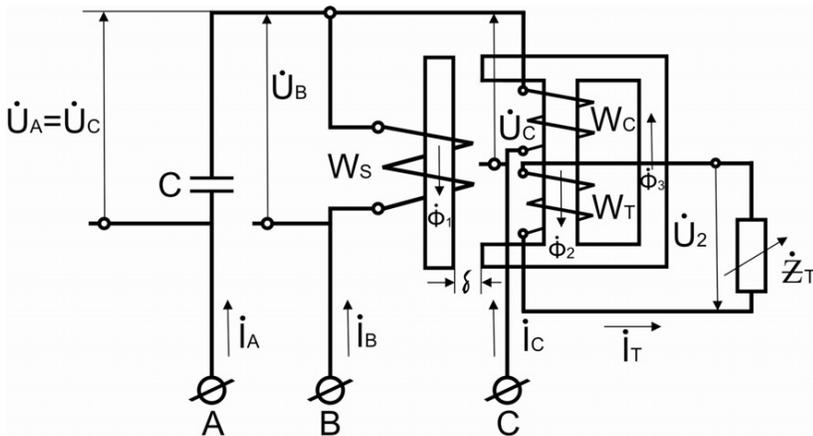
Известни са два принципни варианта, които рализират индуктивно-капацитивна стабилизация на тока. Те могат да се нарекат условно, но достатъчно точно СИМЕТРИЧЕН и НЕСИМЕТРИЧЕН. Симетричността в случая е по отношение на хранящата мрежа. Схемните решения са показани на фиг.1 и фиг. 2

И без особено задълбочаване може да се прецени, че основният недостатък на първия вариант, по отношение на втория, са неговите масогабаритни показатели. Понеже за всяка отделна фаза трансформаторите с магнитен шунт са независими (съвсем еднакви), и липсват напълно, или частично, обединени части, логично общата маса и тегло са по-големи. Това определя по-голямо количество материал



Фиг. 1

(Параметричен стабилизатор, трифазен с отделни трансформатори)



Фиг.2

(Трифазен стабилизатор на ток с обединен трансформатор)

за изработката на системата и по-висока цена. Това разделяне на трансформаторите по фази има и преимущества. Най-лесно и отчетливо те могат да се установят при паралел с известното и аналогично сравнение между двата възможни варианта на трифазните системи от обикновени (класически двунамотъчни) трансформатори. Едно от преимуществата на трифазната система, съставена от три отделни (независими за всяка фаза) трансформатора е, че габаритите и теглото на всеки от трансформаторите са по-малки в сравнение с трифазния обединен вариант. Това облекчава монтажа и пренасянето (при нужда) на трансформаторите. Второто предимство се заключава в по-малката т.н. резервна мощност (ако е необходима), или в това, че при авария почти винаги се налага да се подменя (ремонтира) само един от трите (както стана ясно по-малки в сравнение с обединения трифазен трансформатор на системата).

От своя страна Вторият вариант е по-добър в масогабаритно (а значи и в стойностно) отношение. Не по-малко очевидният му недостатък е несиметричността по отношение на захранващата мрежа. Трите фази са с различни съпротивления, което определя тази несиметричност. Тя се потвърждава след решаване комплексната система уравнения, описваща електромагнитната верига от фиг. 2.:

$$\begin{aligned} \dot{\Phi}_1 + \dot{\Phi}_2 - \dot{\Phi}_3 &= 0 & \dot{I}_1 + \dot{I}_2 - \dot{I}_3 &= 0 \\ \dot{I}_T \dot{Z}_T + \frac{j\omega}{\sqrt{2}} W_T \cdot \dot{\Phi}_2 &= 0 & \dot{I}_C W_C + \dot{I}_T W_T &= 0 \\ \frac{j\omega}{\sqrt{2}} W_B \cdot \dot{\Phi}_B - \frac{j\omega}{\sqrt{2}} W_C \cdot \dot{\Phi}_C &= \dot{U}_L & \sqrt{2} \dot{I}_B W_B - \dot{\Phi}_B \dot{R}_S &= 0 \\ \frac{j\omega}{\sqrt{2}} W_B \cdot \dot{\Phi}_B + \frac{j}{\omega C} \dot{I}_A &= \dot{U}_L \end{aligned}$$

В резултат на което решение за захранващите токове от трите фази се получават изразите:

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= j \cdot e^{j \frac{4\pi}{3}} \frac{\dot{U}_L}{\dot{X}} \\ \dot{I}_B &= \left( j + e^{j \frac{4\pi}{3}} \cdot \frac{\dot{Z}_T}{\dot{X}} \cdot \dot{K}_T^2 \right) \frac{\dot{U}_L}{\dot{X}} \\ \dot{I}_C &= \left( 1 + j \cdot e^{j \frac{2\pi}{3}} \cdot \frac{\dot{Z}_T}{\dot{X}} \cdot \dot{K}_T^2 \right) j \cdot e^{j \frac{2\pi}{3}} \frac{\dot{U}_L}{\dot{X}} \end{aligned}$$

Където  $\dot{X} = \frac{1}{\omega C}$ .

И тук възниква позната дилема – дали да се даде превес на масогабаритните (а от там и ценови) показатели на системата, или да се предпочете нейната симетричност по отношение захранващата мрежа. Двата показателя са с приблизително еднаква тежест. С оглед все пак на дългосрочния ефект от симетричното натоварване на мрежата, а и на по-лесното монтиране и евентуално

ремонтиране на трифазната система от трансформатори считаме, че предимство има симетричната система (фиг.1).

В последните 10-20 години в заваръчните токоизточници навлязоха широко трансформаторите, работещи с повишена (до стотици херца), чрез инвентори честота. Което води до почти революционни промени в конструкциите (теглото, габаритите) им. Възможности за това дава преди всичко бурното развитие на електрониката и осигуряването на подходяща (за високи токове и тежки работни режими) елементна база за изработката на инверторите. Най-значителния ефект от това е неколкостотното намаляване на габаритите на заваръчните захранващи източници. Което отстранява един от важните недостатъци на електрожените – доста голямото тегло.

Ако се погледне познатата и основна зависимост за трансформаторите – тази за индуктираните при работата им електродвижещи напрежения в двете намотки:

$$E_{1,2} = 4,44 W_{1,2} f \cdot B \cdot S,$$

се вижда, че евентуалното повишаване на честотата  $f$ , да речем от 50 на 300-400 херца (т.е. 6-8 пъти спрямо мрежовата – 50 херца), позволява сечението на магнитопровода да се намали също от порядъка на 6-8 пъти, като при това напреженията в намотките се запазят. Такова намаляване на сечението, естествено (имайки предвид че определящи за тях са най-вече размерите на магнитопровода), ще намали габаритите и теглото на трансформатора също почти 6-7 пъти. Да, като страничен ефект ще се увеличат магнитните загуби в машината (от вихрови токове на Фуко и от хистерезис). Но от една страна намалените размери частично компенсират това увеличение, от друга страна загубите в трансформатора поначало са най-малки в сравнение с останалите ел. машини, а и самите загуби в магнитопровода са от порядъка на процент от мощността на трансформатора, от трета страна се използват все по-качествени феромагнитни материали, което понижава загубите в тях. Ето защо подобно увеличаване на честотата не е повод за смущение. А силното намаляване на габаритите и (най-вече) олекотяване на електрожените, оправдава известния компромис със загубите.

Казаното предлага възможност увеличаването на честотата на работното напрежение да се приеме като переспектива и насока в развитието и на конструкциите на индуктивно-капацитивните заваръчни токоизточници. И да се направят проучвания, а след това и разработки в направление работата им с инвертори. Които да повишат работната честота на трансформаторите до няколкостотин херца. А поради наличието на кондензатори в тях, още на този предварителен етап може да се предвиди, че увеличаването на честотата ще доведе и до пропорционалното намаляване на кондензаторните батерии, при запазване на капацитета им (съгласно зависимостта  $C = 1 / 2 \pi f \cdot X_C$ ), което е допълнителен плюс.

Като стабилна база за подобни начални проучвания и следващи съпоставки, може да се вземе реален заваръчен токоизточник с индуктивно капацитивна стабилизация. Такъв в миналото е изработван и елементи за повторна негова направа са налични, Той би имал следните работни параметри и показатели:

- Номинален заваръчен ток – 200А
- Граници на регулиране на тока 40 – 200 А
- Напрежение на празен ход до 60 В
- Захранване 3Х380 В, с честота 50 хц.
- Номинална мощност 9 КВА
- Габаритни размери:

Дължина около 800 мм.  
Ширина около 400 мм.  
Височина около 750 мм.

- Тегло около 170-180 кг.

Заслужава да се обърне специално внимание на фактора на мощност на такъв електрожен за заваряване с постоянен ток. Например в режими на празен ход той е в диапазона от 0,95 (индуктивен) до 0,15 (капацитивен). Това е многократно по-добър  $\cos \varphi$  в сравнение с конвенционалните заваръчни електрожени (токоизточници). И е пореден аргумент (заедно с други посочени качества), за работа по съвременяване на този тип заваръчни токоизточници в посока тенденциите за повишена работна честота.

Направените ориентировъчни пресмятания във връзка с проектирането основната съставна част на заваръчния токоизточник с горепосочените параметри–Индуктивно-капацитивния стабилизатор (който е в симетричен вариант на конструкция и има три еднофазни трансформатора с магнитен шунт– вж. Фиг.1 по-горе) показаха, че евентуалното увеличаване на честотата на работното напрежение от 50 на 200 хц. би довело до намаляване на габаритите с около 160% и теглото с около 125%. Голяма точност на този предварителен етап не е възможна, поради конструкцията, в която участват доста спомагателни елементи (комутационна апаратура, охлажданем защиты и др.). Увеличаване на работната честота на 400 хц. би трябвало да намали габаритите и теглото на електрожен с индуктивно капацитивна стабилизация между 3 и 4 пъти.

Изложеното позволява да се направят следните изводи и заключения:

1. Въпреки изложените разнопосочни предимства на всеки от двата конструктивни варианта на индуктивно-капацитивен стабилизатор с голяма мощност (с определена насоченост за заваръчен токоизточник), все пак по-добрият от конструктивна гледна точка е този с три отделни трансформатора за всяка фаза (наречен по-горе симетричен).
2. Предварителните пручвания показаха достатъчно ясно, че е възможна и обоснована перспективата за проектиране на подобни заваръчни токоизточници с повишена работна честота.

#### **За контакти:**

1. Георги Рашков Георгиев, доц. д-р. инж., кат.ТИЕ, тел: 412,  
E-mail: [grashkov@uni-ruse.bg](mailto:grashkov@uni-ruse.bg)
2. Таня Методиева Стоянова, доц. д-р. инж., кат.ТИЕ, тел: 502,  
E-mail: [tstoyanova@uni-ruse.bg](mailto:tstoyanova@uni-ruse.bg)
3. Илиан Стефанов Цветков, гл. Ас., д-р, инж, кат. ТИЕ, тел 415, E-mail:  
[i\\_tsvetkov@uni-ruse.bg](mailto:i_tsvetkov@uni-ruse.bg)
4. Димчо Василев Киряков, гл.ас.,д-р,инж, кат. ТИЕ, тел. 371, E-mail: [kiriakov@uni-ruse.bg](mailto:kiriakov@uni-ruse.bg)

**Докладът е рецензиран.**