

## АВТОНОМНИЯТ ИНВЕРТОР КАТО ИЗТОЧНИК ЗА ЗАВАРЯВАНЕ

доц. г-р Димитър Димов Югов, Желязко Стоянов Бъчваров  
Технически Университет гр. Варна

There are two kinds of welding converters depending on the type of the output current - DC and AC current converters. The DC current welding converters are used more widely. They are realised as:

- a) Controlled AC/DC converters
- b) Converters with high frequency power stage

The basic part in the high frequency welding converters is the DC/DC converter which works at high frequency. This lead to well-known advantages of these type converters in comparison with conventional ones - reduced weight, volume and improved dynamics characteristics. In the article is exposed an overview of the transistor based high frequencies welding converters. A block scheme of a modern welding converter is chosen. An example of a schematic realisation is given. Based on the overview and the specific requirements of the high frequencies welding converters, several kinds of resonant converters are proposed. Conclusions are made about the choice of the converters and their performance.

**Key words:** welding, welding converters, resonant converters

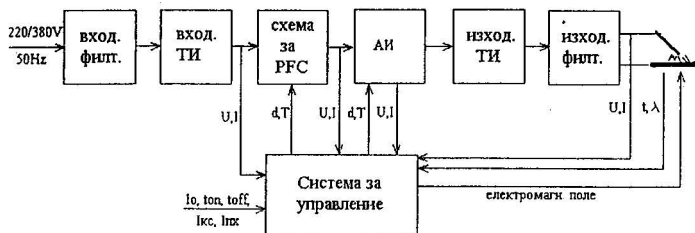
С развитието на съвременните технологии, силовите ключови елементи направиха възможна работата на силовите инвертори при честоти надвишаващи значително 20kHz. Това доведе до намаляване на обема и теглото на силовите преобразователни устройства, като същевременно подобри и техните динамични характеристики. От друга страна, на преден план излязоха проблемите свързани с комутационните загуби, пренапреженията върху ключовите елементи и до усложняване на топологията на инвертора поради факта, че при високи честоти паразитните елементи във веригата не могат да се пренебрегнат. С повишаване изискванията свързани със замърсяването на мрежата с висши хармоници, проектирането на съвременен силов преобразовател се превърна в сложна инженерна задача. Създадени са десетки топологии, методи за намаляване на комутационните загуби, методи за управление и методи за контрол, което прави проблема с избора на най-оптимално решение още по-труден за решаване. Всъщност, откриването на най-оптималното за даден проблем решение често не може да се направи.

Когато разглеждаме инверторите за заваряване, проблемите стават дори още повече. На първо място трябва да споменем, че източниците за заваряване трябва да могат да работят в диапазона от празен ход до късо съединение. Динамичните процеси при заваряване са свързани с чести преходи от празен ход към късо съединение и обратно, както и от номинален ток към късо съединение или празен ход и обратно. Номиналният ток (Inom) може да бъде в границите (5-140/15-315 A), а тока на късо съединение не трябва да превишава 1.2 Inom, като същевременно формата на импулса трябва да бъде строго определена в зависимост от вида на електрода и заварявания детайл. Честотата на тези превключвания е от порядъка на няколко стотин герца, а прехода от празен ход към късо съединение и обратно е от порядъка на 0.1ms.

В литературата е писано много за източниците за заваряване, но в по-голямата си част, техните характеристики и параметри (посочени като добри) са зависими от параметрите на изходния филтър и вида на входното напрежение. С развитието на съвременната силова електроника и с появата на новите изисквания поставени към потребителите на електроенергия, конвенционалните източници за заваряване отстъпват място на съвременните токоизточници, основен блок на които е високочестотен инвертор. Изискванията поставени към тях са следните:

- малки габарити, тегло и цена;
- добри статични и динамични показатели;
- висок коефициент на полезно действие и надеждност;
- малка степен на замърсяване на електрическата мрежа с висши хармоници и фактор на мощността равен на единица;
- възможност за настройване на технологичните параметри, определящи качеството на заваръчното съединение.

На фиг.1 е показана блокова схема на съвременен източник за заваряване.



фиг.1

Част от показаните обратни и задаващи връзки могат да бъдат премахнати при определени ситуации. При проектирането на източника за заваряване и търсене на оптимално решение е очевидно, че блоковете трябва да се разглеждат като една цялостна система. По този начин, изборът на едно или друго решение за даден блок ще е най-добре мотивиран.

Вижда се, че при така дефинираните изисквания, блока за управление е микропроцесорна система. Това налага следния извод:

1. схемното решение не трябва да се избира на базата на неговите регулировъчни, изходни, предавателни и др. характеристики защото техните недостатъците могат да бъдат компенсирани чрез системата за управление;

2. от гледна точка на висок коефициент на полезно действие, топологията на схемата и метода за управление трябва да осигурят нулеви комутационни загуби на ключовите елементи;

3. от гледна точка на цена и висок КПД, трябва да се избягва добавянето на допълнителни елементи в силовите контури;

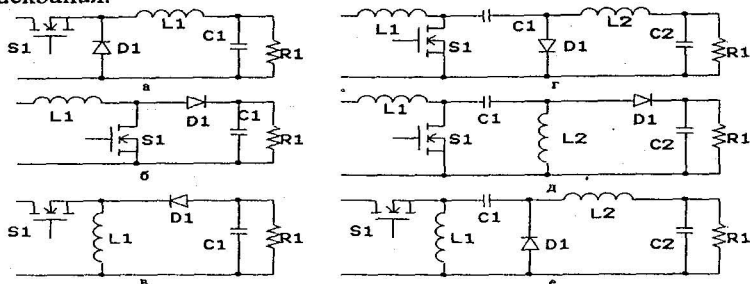
4. от гледна точка на електромагнитното взаимодействие и максимално използване на феритните материали, формата на токовете трябва да е близка до синусоидалната, като

изменението на работната честота трябва да е в малки граници.

### Обща класификация на преобразувателите на постоянно напрежение.

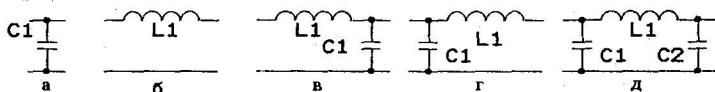
На фиг.2 са показани шесте основни типа преобразуватели на постоянно напрежение. От схемата показана на фиг.1 се вижда, че входния токоизправител е нискочестотен, което заедно с факта, че входния нискочестотен филтър служи само за подтискане на сравнително маломощни смущения определя схемата за корекция на фактора на мощността да бъде с индуктивност на входа. Следователно само схеми 2б,2г са подходящи за директно използване, а според условие 3 схема 2б е най-подходяща. Вижда се, че схемата е с напреженов изход. Ако е необходим ток изход може да се използва схема 2г или да се добави изходна индуктивност към схема 2а, но и в двата случая влизаме в разрез с изискванията от т.3.

Определяне типа на инвертора е още по-трудна задача ето защо ще е необходимо да се дефинират допълнителни изисквания.



фиг.2

На фиг.3 са показани няколко конфигурации на изходни филтри.

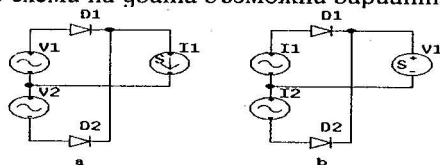


фиг.3

От гледна точка на това, че филтъра работи при голям ток е необходимо да съдържа индуктивност. Това ще доведе до намаляване на изходните пулсации при голям изходен ток и въпреки, че при високи работни честоти те не влияят на заваръчните процеси ще се получат големи загуби в силовите проводници в следствие токовете на Фуко, утечни токове в паразитните капацитети и облъчване на оператора с електромагнитни вълни. От гледна точка, че при заваряване съществуват преходи от късо съединение/Ином - празен ход е необходимо използването на изходен кондензатор в който да се отдава паразитната енергия натрупана в изходния дросел. От казаното до тук следва, че изборът на изходен филтър се свежда до схеми 4б,г.

Нека да разгледаме работата на изходния изправител. Неговото работно напрежение не надвишава 120V, а работния

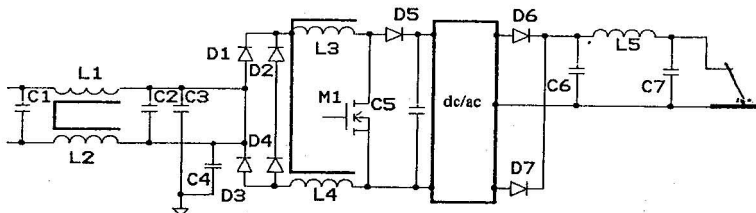
му ток - 140/315А. От гледна точка на загубите в диодите трябва да се използва схема със среден извод на вторичната страна на трансформатора. На фиг.4 са показани заместващите схеми на двата възможни варианта.



фиг.4

Диодите са полупроводникови елементи с един p-n преход. Това обуславя лоши комутационни характеристики при големи стойности на тока на комутация. При схемата показана на фиг.4а вследствие на факта, че тока е константен, диодите ще комутират при голям ток, което определя тяхното ниско бързодействие и големи комутационни токове в следствие тока на възстановяване. Докато трае процеса на комутация, изхода на трансформатора е свързан на късо, което в действителност води до влошаване на предавателната характеристика на изправителя. При схемата показана на фиг.4б този проблем отпада понеже диодите работят при синусоидална форма на тока. Следователно единствения избор е схемата от фиг.4а, което от своя страна води до единствена конфигурация на изходния филтър показан на фиг.3г.

От направените до тук разсъждения може да се синтезира следната схема на токоизточник за заваряване показана на фиг.5



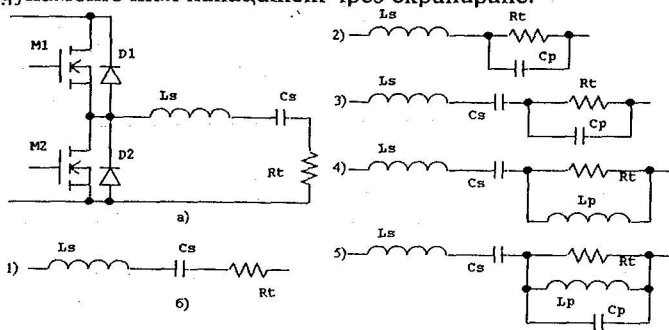
фиг.5

Кондензаторите C3 и C4 са свързани след L1,2 за да се предпази захранващата мрежа от високочестотни смущения разпространяващи се по заземените елементи на схемата. От друга страна, външните смущения ще се филтрират от L3 и L4, които трябва да имат малки паразитни капацитети. Не е предвидена нулева комутация за силовите ключове на схемата за корекция на фактора на мощността, поради голямото разнообразие от схемни решения.

По този начин определихме необходимите условия, на които трябва да отговаря силовия инвертор за заваряване. Той трябва да има напреженов вход и токов изход. Формата на изходния ток трябва да е синусоидална или поне с малка скорост на изменение при смяна на поляритета. От гледна точка на електромагнитната съвместимост предпочитан тип инвертор е резонансния. Ето защо тук ще разгледаме само резонансните преобразуватели с напреженов вход и токов

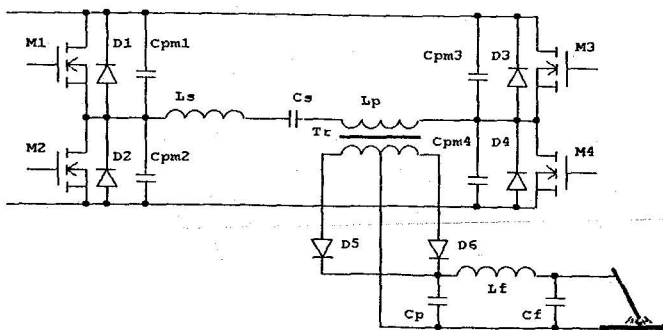
изход. Няма да се спираме на инверторите с резонансна връзка, квазирезонансните преобразуватели и инверторите на ток, защото всеки един от тях не отговаря на някои от условията дефинирани в началото.

На фиг.6а е показана схема на последователен резонансен инвертор. На фиг.6б са показани някои конфигурации на резонансни вериги. Индуктивността свързана последователно на товара се явява индуктивността на разсейване на трансформатора, а свързаната в паралел - намагнетизиращата индуктивност. От гледна точка на изискването ивертора да е с токов изход, Ср не трябва да се използва освен в случая когато той се явява С1 на изходния филтър. Така описаните резонансни преобразуватели обикновено работят при честоти 20-50kHz. При работа над 100kHz влиянието на паразитните капацитети трябва да се вземе под внимание. Паразитните капацитети на намотките могат да се намалят чрез специално подреджване на навивките, а междунамотъчния капацитет чрез екраниране.



фиг.6

При работа на празен ход при всички резонансни преобразуватели се получава циркулиране на паразитна енергия в силовите контури поради което се получава нистък КПД. Разрешение на проблема е преминаване от непрекъснат в прекъснат режим на работа при малък товар. На фиг.7 е показана принципна схема на резонансен инвертор за заваряване.



В режим на заваряване резонансният кръг се реализира от индуктивностите на разсейване ( $L_s$ ) и намагнитване ( $L_p$ ) на трансформатора ( $Tr$ ), паразитните капацитети на силовите транзистори  $Cr_{M1-4}$ ,  $C_s$  и  $C_r$ . В режим на празен ход инвертора преминава в прекъснат режим на работа като в резонанс влизат  $L_s$ ,  $L_p$  и  $C_s$ . Така предложената конфигурация осигурява при работа при номинален ток работната честота да се изменя в тесни граници осигурявайки оптимален режим на комутация на силовите ключови елементи и максимално използване на феромагнитните материали. Същевременно е минимизиран броя на елементите в силовия контур като по този начин се намалява цената на изделието, увеличава се неговата надеждност и КПД.

В статията е разгледан проблема свързан с избора на оптимална схемна конфигурация на съвременен високочестотен заваръчен токоизточник. Приложени са схемни решения, като е направен обоснован избор на силовият блок.

Настоящата доклад е реализирана по договор ТН588 95  
Националния фонд "Научни изследвания"

Литература:

1. Resonant Power Converters, Marian K. Kazimerczuk, Dariusz Czarkowski, 1997
2. New Method of Power Control for Series-Parallel Load-Resonant Converters Maintaining Zero-Current Switching and Unity Power Factor Operation, Helen Pollock, John O. Flower, IEEE Trans. on Power Electronics, vol.12, No1 Jan. 1997
3. Series-Parallel Load Resonant Converter for Controlled-Current Arc Welding Power Supply, H. Pollock, J.O.Flower, IEE Proc.-Electr. Power Appl. Vol.143, No3 May, 1996
4. Analysis and Design of LCL-Type Series Resonant Converter, Ashoka K. S. Bath, IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 41, No1, Feb. 1994
5. Resonant Converter Topologies with Tree and Four Energy Storage Elements, Issa Batarseh, IEEE Trans. on Power Electronics, vol.9, No1, Jan. 1994
6. Cyclic Quasi-Resonant Converters: A New Group of Resonant Converters Suitable for High Performance DC/DC and AC/AC Converters Applications, Jung G. Chao, Gyu H. Cho, IEEE Trans. on Power Electronics, 1990
7. Generalized Quantum Resonant Converters Using A new Concept of Quantum Resonant Switch, Gyu B. Joung, Jung G. Cho, Gyu H. Cho, IEEE Trans. on Power Electronics, 1990
8. An Improved Full-Bridge ZVS PWM Converter Using a Saturable Inductor, IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 8 No4 Oct. 1993