



СИСТЕМА ПИТАНИЯ МАШИН ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ С ТРАНЗИСТОРНЫМ ИНВЕРТОРОМ

Академик НАН Украины **В. К. ЛЕБЕДЕВ**, **А. А. ПИСЬМЕННЫЙ**, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассматриваются и сравниваются по своим энергетическим показателям различные системы питания машин для контактной сварки: однофазные промышленной частоты и трехфазные с преобразователями частоты и числа фаз (с инверторами на тиристорах и на биполярных транзисторах). Показано, что система с инверторным преобразователем на силовых транзисторах имеет по сравнению с системой с тиристорным преобразователем преимущество в отношении распределения токов по фазам сети как потребитель электрической энергии. Высокий коэффициент мощности, близкие массогабаритные показатели трансформатора для пониженной частоты к трансформатору промышленной частоты и отсутствие мощных выпрямительных диодов во вторичной цепи говорят о перспективности транзисторного инвертора с настройкой частоты на 30 Гц.

Ключевые слова: контактная сварка, симметричная система питания, транзисторный инвертор, коэффициент мощности

С развитием силовой преобразовательной техники появилась возможность создания новых типов систем питания мощных машин для контактной сварки. Используемые в настоящее время машины с системой питания, состоящей из трехфазного выпрямителя, инвертора повышенной частоты, трансформатора с выпрямителем во вторичной цепи, имеют низкий КПД. Потери энергии в вентилях близки, а в некоторых случаях и больше энергии, затрачиваемой на образование сварного соединения. Единственный путь повышения КПД — отказ от выпрямителей во вторичной цепи машины, т. е. переход на переменный ток. Такие машины производили много лет назад и работали они при частоте порядка 5 Гц. Столь низкая частота была выбрана с целью снижения сопротивления машины, а следовательно, и ее мощности, но при этом многократно возрастала масса трансформатора [1]. Машины с такими трансформаторами нашли ограниченное применение и теперь не используются. Можно было бы повысить частоту, но при этом нагрузка фаз сети становится тем более неравномерной, чем ближе преобразованная частота к частоте питающей сети. Повышение частоты ведет к необходимости увеличения мощности.

В работе [2] описана новая система питания, близкая к упомянутой выше, но отличающаяся тем, что равномерная нагрузка фаз достигается только в течение трех полупериодов преобразованной (низкой) частоты. Систему нельзя считать

симметричной в полном смысле этого термина. Мгновенная мощность не остается постоянной в любой момент (главный признак истинно симметричной системы), но токи в фазах выравниваются в небольшом интервале времени и с этой точки зрения система является симметричной. Система, рассмотренная в работе [2], не идеальна, но во многом превосходит применяемые ныне. Ниже рассматривается аналогичная система, но с транзисторным инвертором (рис. 1). Транзисторы инверторного ключа позволяют производить коммутацию в любой момент времени. В данном случае коммутация производится через время, кратное $1/3$ полупериода питающей сети. В зависимости от числа «макушек синусоид» представленная система может быть настроена на частоты

$$f = \frac{3}{0,02n}.$$

Рассмотрим систему, настроенную на частоту 30 Гц ($n = 5$). Графики напряжения и токов показаны на рис. 2. Сравним основные показатели этой системы питания с распространенной одно- и трехфазной, оснащенной тиристорным инвертором [2]. Схему замещения машины (включая трансформатор, вторичный контур и сварочный контакт) представим в виде последовательно соединенных активного сопротивления r и реактивного (индуктивного) X . В этом случае

$$i = C \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + \frac{U}{r},$$

где i — ток; $U = 1,35U_1$ — действующее значение напряжения на входе преобразователя;

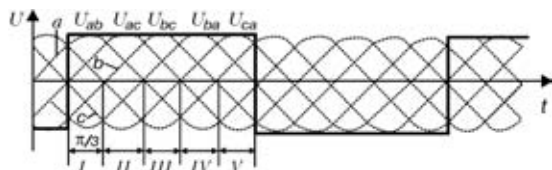


Рис. 1. Система питания машины для контактной сварки с транзисторным инвертором (описание участков I... V см. в тексте)

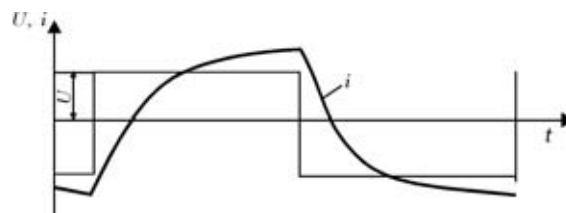


Рис. 2. Графики напряжения и тока на выходе преобразователя

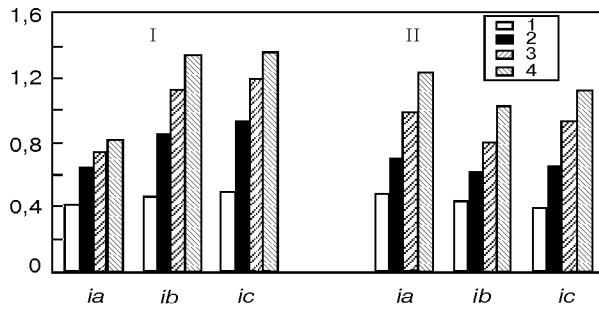


Рис. 3. Сравнение фазных токов тиристорной (I) и транзисторной (II) систем: 1 – $\text{tg } \varphi = 0,5$; 2 – $\text{tg } \varphi = 1$; 3 – $\text{tg } \varphi = 1,5$; 4 – $\text{tg } \varphi = 2$

$\tau = X/\omega r = \text{tg } \varphi/\omega$ – постоянная времени; φ – фазовый сдвиг кривой тока относительно кривой напряжения; t – время; U_1 – действующее значение линейного напряжения; $C = -2\frac{U}{r}\left(1 + \exp\left(-\frac{t_p}{\tau}\right)\right)$ – свободная составляющая тока; $\omega = 2\pi f = 314 \text{ c}^{-1}$ – угловая частота; $t_p = T/2$ – половина периода преобразованной частоты.

Мощные контактные машины для сварки габаритных деталей с большими толщинами обладают значительным индуктивным сопротивлением X , намного превосходящим активное сопротивление r . Поэтому принимаем в качестве базовых величин U , X , а также перейдем от абсолютного времени ко времени, вычисляемому по углу напряжения частоты сети. При этом принимаем, что в рассматриваемом полупериоде преобразованной частоты (30 Гц) ток протекает следующим образом (рис. 1): по фазе a – I, II, IV и V участки, каждый продолжительностью по $\pi/3$; по b – I, III и IV; по c – II, III и V. Обозначим выраженные в относительных единицах действующие значения токов, приведенных к первичной стороне: сварочный – ie и фазные – ia , ib , ic . Интегрирование проведем в пределах одного полупериода низкой частоты ($0 \dots 5\pi/3$). Результаты расчетов сведены в таблицу и показаны на рис. 3.

Как видно из таблицы, фазные токи имеют разные значения, но в течение 1,5 периода значение их усредняется и становится равным

$$ij = \sqrt{[(ia^2 + ib^2 + ic^2)/3]}$$

На рис. 3 для сравнения показаны те же значения фазных токов для одного полупериода низкой частоты, взятые из работы [2]. Как следует из сопоставленных диаграмм, преимущества транзисторного преобразователя в отношении распределения токов по фазам несомненны. Определим коэффициент мощности трехфазного преобразова-

Относительные значения сварочного и фазных токов в зависимости от $\text{tg } \varphi$

$\text{tg } \varphi$	ia	ib	ic	ie	ij
0,5	0,45	0,409	0,36	0,45	0,367
1,0	0,69	0,601	0,636	0,788	0,644
1,5	0,95	0,799	0,895	1,018	0,831
2,0	1,25	1,045	1,171	1,165	0,951

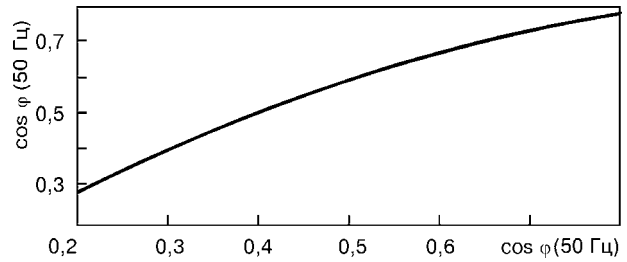


Рис. 4. Зависимость коэффициента мощности трехфазной системы преобразования энергии от коэффициента мощности сварочной цепи при промышленной частоте

теля и сравним его с коэффициентом мощности системы с однофазным питанием. Коэффициент мощности

$$K = \frac{P}{S} = 0,955 \frac{ie}{\text{tg } \varphi}, \quad P = \left(\frac{U}{X}\right)^2 ie^2 r, \quad S = 3U_{cp} \frac{U}{X} ij,$$

где P , S – соответственно активная и кажущаяся мощность; $U_{cp} = \frac{U}{1,73 \cdot 1,35}$.

Зависимость коэффициента мощности преобразователя с трехфазным питанием от коэффициента мощности системы с однофазным питанием (рис. 4) подтверждает преимущества системы с инвертором по сравнению с простейшей однофазной при неизменной нагрузке для обеих систем. Транзисторный инвертор имеет несколько более высокий коэффициент мощности, чем тиристорный. Отношение фазного тока трехфазной сети, питающей через выпрямитель транзисторный инвертор, к преобразованному току такое же, как при использовании обычного мостового выпрямителя и равно 0,816 вне зависимости от коэффициента мощности.

Снижение частоты при заданном значении сварочного тока ведет к увеличению числа потокоцеплений в трансформаторе. При частоте 50 Гц

$$U_{m1} \sin \omega t = \frac{d\Psi_{(1)}}{dt},$$

откуда

$$\Psi_{(1)} = \frac{\sqrt{2} U_{(1)}}{\omega},$$

где U_{m1} – амплитудное значение напряжения, приложенного к первичной обмотке трансформатора; $U_{(1)}$ – действующее значение первичного напряжения; $\Psi_{(1)}$ – потокоцепление в трансформаторе промышленной частоты.

В трехфазной системе с инвертором

$$\psi = \int U dt = Ut + C.$$

При $t = 0$

$$\psi = Ut - \Psi_{(3)} = -\Psi_{(3)},$$

где $\Psi_{(3)}$ – потокоцепление в трансформаторе, рассчитанном на частоту 30 Гц.

За полупериод низкой частоты $T/2$

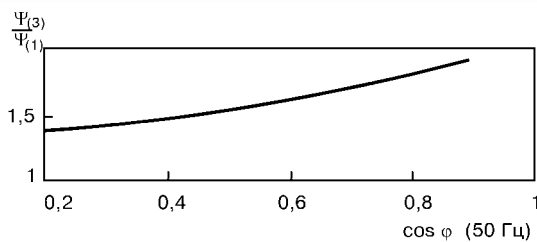


Рис. 5. Зависимость отношения максимального числа потокосцеплений в трансформаторе при частоте 30 Гц к максимальному числу потокосцеплений трансформатора на 50 Гц от коэффициента мощности сварочной цепи при частоте 50 Гц

$$\Psi_{(30)} = U \frac{T}{2} - \Psi_{(30)}$$

откуда

$$\Psi_{(30)} = U \frac{T}{4} = \frac{U}{4f} = \frac{U}{120}$$

где $U = U_{(1)} 1,35/\sqrt{2}$.

Отношение потокосцеплений

$$\frac{\Psi_{(1)}}{\Psi_{(3)}} = \frac{120\sqrt{2} U_{(1)}}{314U}$$

Из условия равенства сварочных токов находим

$$\frac{U_{(1)}}{Z} = \frac{U}{X} ie,$$

где Z — полное сопротивление цепи нагрузки.

The paper analyzes and compares by energy indices different power supply systems for resistance spot welding machines: single-phase commercial frequency and three-phase converters of frequency and number of phases (with thyristor inverters and bipolar transistors). It is shown that the system with inverter converter, based on power transistors has an advantage, compared to thyristorised converter in terms of current distribution by the mains phases, as a power user. A high coefficient of power, weight-dimensional characteristics of the low-frequency transformer close to those of commercial frequency transformer and absence of powerful rectifier diodes in the secondary circuit point to good prospects for application of a transistor inverter with frequency adjustment for 30Hz.

Используя последнее соотношение, получаем выражение для отношения потокосцеплений

$$\frac{\Psi_{(1)}}{\Psi_{(3)}} = 1,77 \frac{\sin \phi}{ie}$$

При высоком коэффициенте мощности потокосцепление в трансформаторе, рассчитанном на пониженную частоту, больше, чем в трансформаторе промышленной частоты (рис. 5). При относительно низком коэффициенте мощности разность чисел потокосцеплений не столь велика. Поэтому размеры трансформатора пониженной частотой близки к размерам трансформатора промышленной частоты, если они рассчитаны на один и тот же сварочный ток и включены на нагрузку с относительно низким коэффициентом мощности.

Рассмотренная транзисторная система имеет преимущества перед тиристорной низкой частотой 30 Гц благодаря более высокому качеству распределения энергии между фазами сети.

Приведенные данные свидетельствуют о перспективности системы преобразования электрической энергии с инвертором на транзисторах, настроенном на частоту 30 Гц, в машинах средней и большой мощности для контактной сварки.

1. Патон Б. Е., Лебедев В. К. Электрооборудование для контактной сварки. Элементы теории. — М.: Машиностроение, 1969. — 440 с.
2. Lebedev V. K., Pismenni A. A. Improvements to the power supply systems of flash-butt welding machines // Welding and related technologies for the 21st century. — Harwood: Acad. publ., 1998. — P. 157–165.

Поступила в редакцию 11.07.2002



**Международная выставка-ярмарка
Сварка. Родственные технологии—2003
20.05–23.05.2003**
«Международный выставочный центр»
Броварской просп., 15, Киев, Украина

Міжнародна виставка-ярмарок
«Зварювання. Споріднені технології—2003»
Київ, 20.05–23.05.2003

International Fair
«Welding. Related Processes—2003»
Kyiv, 20.05–23.05.2003

Международная выставка-ярмарка
«Сварка. Родственные технологии—2003»
20.05–23.05.2003 г.

Организаторы выставки-ярмарки:



Научно-технический комплекс
«ИЭС им. Е. О. Патона»



Общество сварщиков Украины



Экспоцентр «Наука»

При поддержке:

Национальной академии наук Украины,
Министерства промышленной политики,
Киевской государственной городской
администрации,
ЗАО «Международный
выставочный центр»



При содействии

Программы развития ООН

Дополнительную информацию Вы можете получить в НТК «ИЭС им. Е. О. Патона»:
Тел: (38-044) 268-1254, 227-1238, 268-3523 Тел./факс: (38-044) 227-6502, 495-2616 expo@paton-expo.kiev.ua www.paton-expo.kiev.ua