



БЛОК СМЕЩЕНИЯ И ПИТАНИЯ КАТОДА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРОЧНОЙ ПУШКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНВЕРТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Н. К. ЧАЙКА, инж. (ОАО «Selmi», г. Сумы)

Рассмотрен подход к использованию инверторных преобразователей для питания катода и формирования управляющего напряжения электронно-лучевых пушек с целью уменьшения габаритов блока смещения и питания катода. При этом обеспечивается нейтрализация отрицательного воздействия индуктивности рассеяния высокопотенциального трансформатора, увеличивающейся при введении изоляции между обмотками для обеспечения потенциальной развязки.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, электронная пушка, питание катода, напряжение смещения, инвертор, потенциальная развязка

Поскольку в электронно-лучевых сварочных установках катод пушки находится по отношению к корпусу установки под потенциалом, равным ускоряющему напряжению, то в цепях, обеспечивающих питание катода и напряжение смещения, необходимо предусмотреть потенциальную развязку. В энергокомплексах ЭЛА-15, ЭЛА-30, ЭЛА-60 потенциальная развязка осуществляется специальным высокопотенциальным развязывающим трансформатором, который работает на частоте 50 Гц [1]. При переходе на инверторный источник ускоряющего напряжения габариты блока смещения и питания катода сравнимы с размерами самого источника ускоряющего напряжения. В связи с этим возникла необходимость уменьшить размеры блока, для чего в цепях передачи энергии использовали переход на повышенную частоту. Однако при этом высоковольтная изоляция между обмотками высокочастотного высокопотенциального трансформатора отличается достаточно большим объемом по сравнению со значительно уменьшившимися объемами сердечника и обмоток. Увеличение относительного объема, занимаемого высоковольтной изоляцией между обмотками высокопотенциального развязывающего трансформатора, приводит к росту индуктивности рассеяния L_{S1} , L_{S2} соответственно первичной и вторичной обмоток. Причем, чем выше потенциал, на который рассчитан развязывающий высокопотенциальный трансформатор, тем больше объем, занимаемый изоляцией и больше индуктивность рассеяния, которая является для трансформатора паразитным параметром. Индуктивность рассеяния создает индуктивное сопротивление, включенное последовательно с нагруз-

кой (Т-образная схема замещения трансформатора [2]):

$$X_L = 2\pi FL_S \text{ [Ом]},$$

где F — частота, Гц; $L_S = L_{S1} + L_{S2}$ — суммарная индуктивность рассеяния, Гн; L_{S1} — индуктивность первичной обмотки, L_{S2} — вторичной, причем L_{S2} приведена к L_{S1} .

Из приведенного выражения следует, что, чем выше частота, на которой работает трансформатор, тем больше индуктивное сопротивление, последовательно включенное с нагрузкой, и меньше эффективность такой системы передачи энергии. Чтобы выйти из этой ситуации, решено использовать преобразователь постоянного напряжения в переменное с последовательным резонансным контуром на выходе, в котором индуктивность рассеяния будет играть роль индуктивности контура. При совпадении частоты преобразования с частотой контура ток последнего, согласно векторной диаграмме токов и напряжений, приведенной на рис. 1, будет составлять $I_R = U/R_n$ [3], где R_n — приведенное к первичной обмотке сопро-

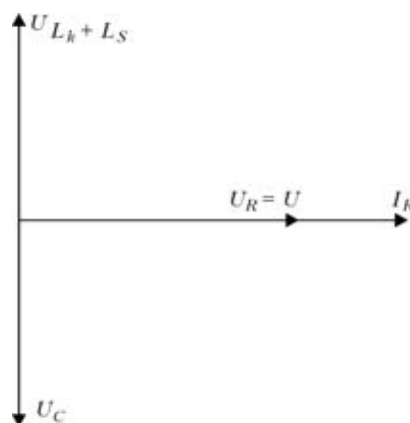


Рис. 1. Векторная диаграмма напряжений и токов контура при частоте, равной резонансной: U — напряжение генератора питающего контура; U_C — напряжение на емкости контура; U_R — напряжение на нагрузке, приведенной к первичной обмотке; L_k — внешняя индуктивность контура; $U_{L_k + L_S}$ — напряжение на суммарной индуктивности контура

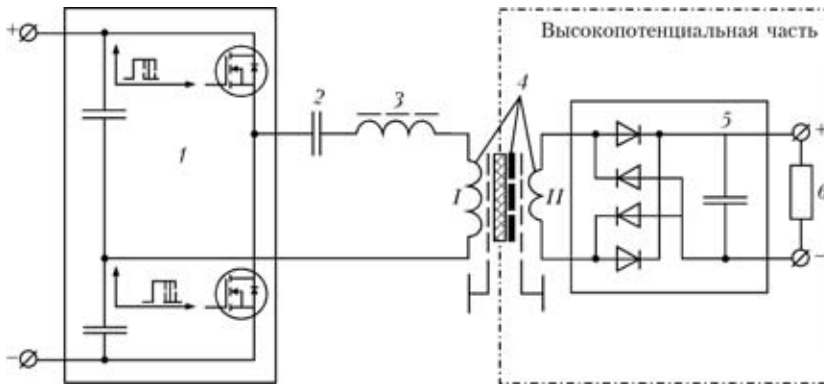


Рис. 2. Схема устройства передачи энергии с высокопотенциальной развязкой: 1 — ключевой инвертор; 2 — конденсатор; 3 — индуктивность; 4 — трансформатор с высокопотенциальной изоляцией между обмотками; 5 — выпрямитель с фильтром; 6 — нагрузка

тивление нагрузки, т. е. напряжение генератора полностью приложено к нагрузке.

Это решение защищено патентом Украины [4]. На рис. 2 представлена схема устройства для реализации этого решения, имеющая вид полумостового преобразователя с резонансной нагрузкой. Для управления выходным напряжением используется широтно-импульсная модуляция управляющих импульсов. В качестве широтно-импульсного модулятора можно применять микросхему КР1114ЕУ4 или ее аналог, а в качестве ключей — полевые транзисторы IRFP 460.

Трансформатор может иметь две и больше вторичных обмоток и два экрана, которые расположены на низкой и высокой стороне и предназначены для защиты элементов при пробоях в электронно-лучевой пушке. Экран, находящийся на высокой стороне, соединен с общей частью источника ускоряющего напряжения, которая в свою очередь соединена с катодом пушки. Ключевой инвертор имеет широтно-импульсное регулирование [5] для управления выходным напряжением. Частота преобразования ключевого инвертора равна резонансной частоте последовательного контура, образованного конденсатором 2, индуктивностью 3, а также индуктивностью рассеяния трансформатора 4. При достаточно высокой частоте преобразования можно обойтись без внешней индуктивности 3, используя в качестве индуктивности контура индуктивность рассеяния трансформатора.

На основе рассмотренного подхода передачи энергии с высокопотенциальной развязкой разработан блок смещения и питания катода, предназначенный для энергоблоков сварочных установок с инверторным источником ускоряющего напряжения. Блок включает три канала — питания накала, напряжения бомбардировки катода и напряжения смещения. Основным элементом в каждом канале является унифицированный по конструкции высокопотенциальный развязывающий трансформатор, имеющий различное количество витков во вторичных обмотках каналов.

Первичные обмотки трансформаторов находятся под низким потенциалом, а магнитопроводы

и вторичные обмотки — под высоким. Высокопотенциальная развязка обеспечивается за счет изоляции первичной обмотки с помощью капсулы из полиэтилена, имеющей форму цилиндра с осевым каналом для магнитопровода. Толщина полиэтилена выбрана исходя из значений рабочего и испытательного напряжений. Капсула состоит из верхней и нижней половинок, которые сочленяются между собой при помощи лабиринта для увеличения расстояния перекрытия по поверхности. От боковой поверхности нижней половинки капсулы на уровне ее основания отходит носик, по внутреннему каналу которого проходят выводы от первичной обмотки и экрана. Длина носика выбрана такой, чтобы трансформатор мог выдерживать испытательное напряжение (в данном случае 90 кВ). В качестве магнитопровода использован сердечник М2000 НМС-III-110А.

Внешний вид высокопотенциального развязывающего трансформатора представлен на рис. 3, а внешний вид блока смещения — на рис. 4. Габариты блока без выступающих носиков трансформаторов составляют 288×245×86 мм, аналогичный блок в энергокомплексе ЭЛА-6, выпускаемый ОАО «Selmi» (г. Сумы) и разработанный по традиционной схеме с высокопотенциальными развязывающими трансформаторами, работающими на частоте 50 Гц, имеет габариты 450×250×440 мм.

На рис. 5 приведены осциллограммы напряжения исток–сток верхнего ключа и тока контура, полуволны которого являются токами ключей,

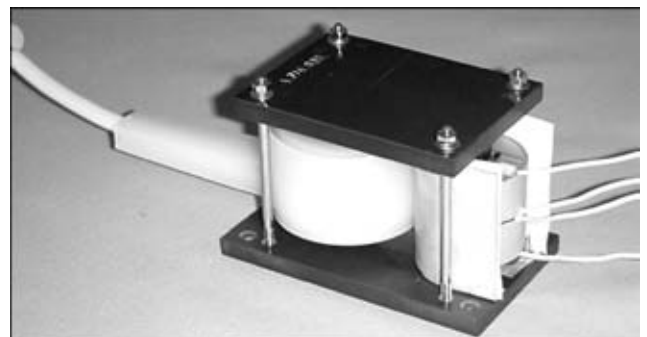


Рис. 3. Внешний вид высокопотенциального развязывающего трансформатора

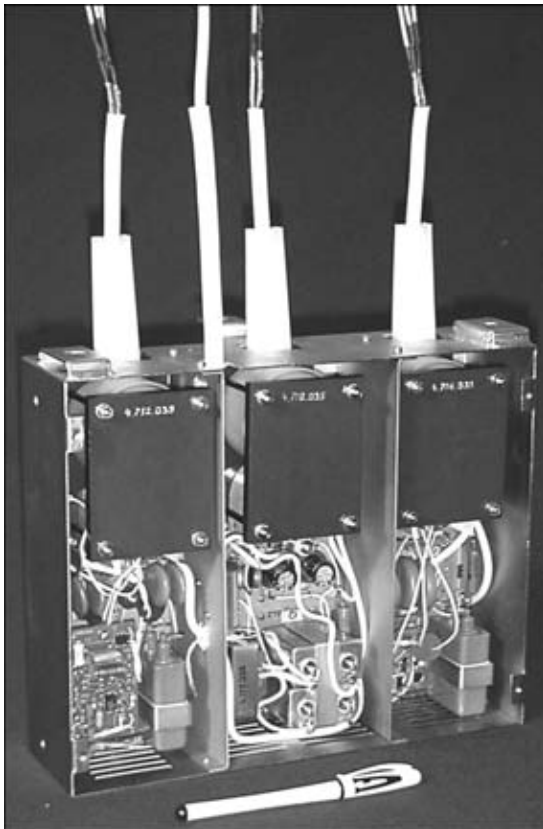


Рис. 4. Внешний вид блока смещения и питания катода со снятой передней крышкой

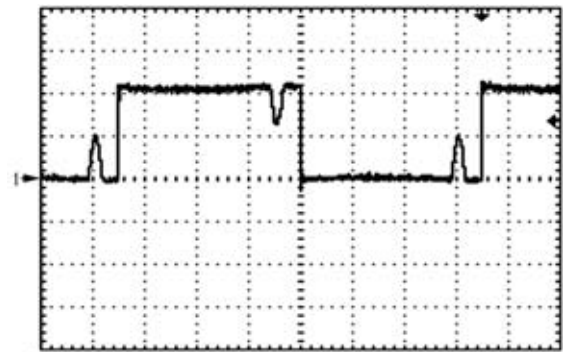
при максимальной длительности импульсов преобразователя канала бомбардировки как наиболее энергоемкого.

Преобразователь работает на частоте 16...20 кГц, и при постоянном токе и напряжении 200 В обеспечивает на нагрузке с сопротивлением 12 кОм ток 80 мА при напряжении 1000 В, что соответствует мощности 80 Вт.

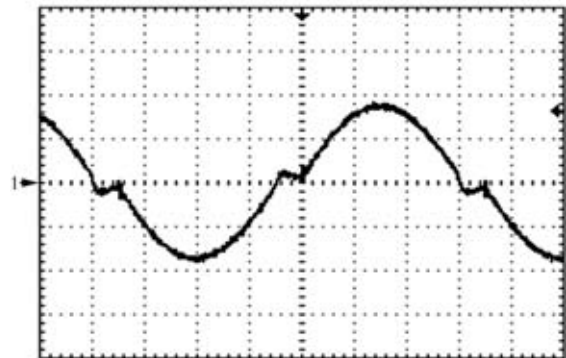
Блок испытан на макете энергоблока ЭЛА-6ВЧ и имеет следующие выходные параметры:

ток накала на нагрузке 0,5 Ом, А	10
напряжение смещения, кВ	5
ток бомбардировки при напряжении 1 кВ, мА	80
рабочий потенциал блока по отношению к корпусу энергоблока, кВ	60

Приведенные достигнутые результаты не являются предельными. При разработке источника бомбардировки разогрева вольфрамового катода



CH1 100V a M 10,0 μs



CH1 1,00V б M 10,0 μs

Рис. 5. Осциллограммы напряжения исток–сток верхнего ключа (а) и напряжения на измерительном резисторе $R_{изм} = 1 \text{ Ом}$ тока контура при максимальной длительности управляющего импульса (б)

на том же трансформаторе получена мощность более 150 Вт при КПД, равном 90 %.

Следует отметить, что устройства, выполненные по предложенной схеме, не подвержены коротким замыканиям в нагрузке, поскольку при этом ток ключей уменьшается.

1. А. с. 1494052 СССР, Н 01 F 27/28, 27/36. Разделительный трансформатор / Е. М. Варашин, М. Е. Тышук. — Оpubл. 15.07.80; Бюл. № 26.
2. Рычина Г. А. Электрорадиоэлементы. — М.: Сов. радио, 1976. — 336 с.
3. Доброневский О. В. Справочник по радиоэлектронике. — Киев: Вища шк., 1971. — 292 с.
4. Пат. 74594 UA, Н 02 M 3/28, Н 01 J 37/06, В 23 K 15/00. Пристрій перетворення енергії постійного струму на вході в енергію постійного струму на виході з високою потенціальною розвозкою / М. К. Чайка. — Оpubл. 16.01.2006; Бюл. № 1.
5. Костиков В. Г., Никитин И. Е. Источники электропитания высокого напряжения РЭА. — М.: Радио и связь, 1986. — 200 с.

The paper deals with the approach to application of inverter-type converters for powering the cathode and forming the control voltage of electron beam guns, to reduce the overall dimensions of the module of bias and power of the cathode. This enables neutralizing the negative impact of leakage inductance of high-potential transformer, which increases with introduction of insulation between the windings to ensure the potential decoupling.

Поступила в редакцию 24.11.2006