**Электросварочный трансформатор**

"Классический" преобразователь напряжения - это трансформатор, рассчитанный на стандартные 50 Гц.

Работа трансформатора основана на принципе взаимной индукции, который состоит в возникновении индуцированного поля в проводниках, находящихся поблизости от других проводников с переменными токами. Так если сила тока в контуре 1 изменяется, то в контурах 2 и 3 (рис. 1), не содержащих источник тока, возникает индуцированное поле, характеризуемое э.д.с. взаимной индукции E21. В обмотках 2 и 3 создается индукционный ток. По закону электромагнитной индукции Фарадея:

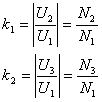


где Ф - поток магнитной индукции, который создается магнитным полем тока l1.

Магнитный поток пропорционален силе тока в контуре:



где М - взаимная индуктивность второго и первого контуров. М зависит от взаимного расположения контуров , геометрической формы и размеров контуров, а кроме того от магнитной проницаемости среды, в которой находятся контуры. При холостом ходе трансформатора, когда ток во вторичной обмотке отсутствует (l2,3= 0 ), отношение абсолютных значений напряжений на концах вторичных и первичной обмоток называется коэффициентом трансформации k.



где N количество витков в обмотке.

Как уже упоминалось, конструкция трансформатора состоит из магнитопровода, катушки с обмотками и крышки, предназначенные для сборки и крепления трансформатора. Назначение магнитопровода заключается в том, чтобы создать для магнитного потока замкнутый путь, обладающий возможно меньшим магнитным сопротивлением. Поэтому магнитопроводы трансформаторов необходимо изготовлять из материалов, обладающих высокой магнитной проницаемостью в сильных переменных магнитных полях.

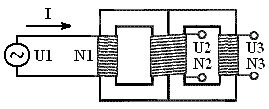


Рис 1. Устройство трансформатора с двумя вторичными обмотками.

Изоляция обмотки от магнитопроводов осуществляется при помощи каркасов, изготовляемых из негигроскопического материала с хорошей электрической и механической прочностью. Также катушка трансформатора содержит междуслоевую, межобмоточную и внешнюю изоляцию.

Магнитопровод должен быть хорошо скреплен для получения механически прочной конструкции. После сборки стягивается обоймой, которая одновременно используется и для крепления трансформатора к шасси. Обойма должна быть изолирована от магнитопровода бумагой или прессшпаном. Выводы проводников обмоток припаиваются к лепесткам, расположенным по наружному периметру катушки в торцевых её частях.

В первую очередь изготавливается катушка. Склеивается каркас. Наматывается необходимое кол-во витков провода первичной обмотки. Для исключения межслоевого замыкания, а также для более ровной укладки проводов используется межслоевая изоляция (бумага). Концы бумаги проклеиваются. Затем проклеивается межобмоточная изоляция, нужная для изоляции обмоток. Дальше операция повторяется

Во вторую очередь собирается каркас. Магнитопровод собирается в стык из двух сердечников подковообразной формы (С-образные) или Ш-образной формы. Для получения возможно меньшего магнитного сопротивления в местах стыка С-образных сердечников их торцевые поверхности подвергаются шлифовке. Затем, после того, как на магнитопровод надета катушка, обе половины склеиваются специальной ферритовой пастой.

Обмотки трансформатора должны быть хорошо изолированы как от магнитопровода, так и друг от друга. Изоляция обмотки от магнитопровода осуществлена при помощи каркаса, изготовленного из электротехнического картона (прессшпана).

Кроме каркаса, предохраняющего обмотки от соприкосновения с магнитопроводом, катушка трансформатора содержит межслоевую, межобмоточную и внешнюю изоляцию. Межслоевая изоляция служит для изоляции отдельных слоев каждой обмотки друг от друга. Межобмоточная изоляция служит для создания изоляции между обмотками, а внешней изоляция предохраняет обмотку от пробоя на корпус и на соседние детали, а также от внешних повреждений. Выводы обмоток припаиваются к лепесткам , которые размещаются на щечке каркаса. Для получения механически прочной конструкции и для крепления трансформатора к основанию используется кожух.

Катушка трансформатора пропитывается лаком. По окончании сборки трансформатор маркируется.

**Характеристики трансформатора**

Электромагнитной мощностью трансформатора называется мощность, передаваемая из первичной обмотки во вторичную электромагнитным путем. Она равна произведению э.д.с. этой обмотки на величину тока нагрузки, т.е.

P = E2I2

Полезной, или отдаваемой, мощностью трансформатора называется произведение эффективного напряжения на зажимах вторичной обмотки на величину ее нагрузочного тока

P2 = U2I2

Расчетной мощностью трансформатора называется произведение эффективного тока, протекающего по обмотке, на величину напряжения на ее зажимах. Эта мощность характеризует собой габаритные размеры обмотки, т.к. число витков обмотки определяется напряжением на ее зажимах, а сечение провода - эффективным током. Расчетная мощность первичной обмотки равна произведению напряжения на ее зажимах и тока, потребляемого трансформатором из сети, т.е.

P1 = U1I1

Типовой, или габаритной, мощностью называется мощность, определяющая размеры всего трансформатора. Ее величину определяют по формуле

Pтип = (P1+P2)/2

где P1 и P2 - расчетные мощности обмоток трансфор-матора.

В процессе работы трансформатора в его магнитопроводе и в его обмотках затрачивается некоторая часть подводимой к нему энергии и поэтому мощность, потребляемая трансформатором из сети, всегда больше мощности, отдаваемой нагрузке.

Конструктивные характеристики определяются весом, габаритами, формой, приспособленностью к совместному размещению с другими элементами конструкции радиоэлектронного блока или аппарата, а также приспособленностью к экономически целесообразному процессу изготовления.

Эксплуатационными характеристиками трансформатора являются долговечность и надежность.

**Вольтамперная характеристика**

Важнейшая характеристика любого источника тока - ВАХ - у него определена конструктивно и не может быть изменена в процессе эксплуатации. Отсюда посредственные динамические качества. Такой аппарат имеет большой вес и крупные габариты, но зато надежен и практически "не убиваем". Если он оборудован выпрямителем, то часто допускает работу на токе двух родов.

На современных моделях часто используют тиристорное управление выходными параметрами. Это позволяет снизить массу и габариты, уменьшить "инертность", реализовать некоторые полезные функции и улучшить динамические характеристики. У таких аппаратов возможны коррекция ВАХ и работа с очень маленькими токами (до 2 А). Практически все такие источники имеют выход только по постоянному току.

При проектировании источников питания для сварочных аппаратов необходимо учитывать особенности ВАХ последних. Так, при индуктивной нагрузке (сварочный трансформатор), внешняя характеристика синхронного генератора имеет резко падающий характер, причем с уменьшением cos падение напряжения усиливается (рис.2, X>0). При активно-емкостной нагрузке (сварочный инвертор) cos опережающий и с ростом потребляемого тока напряжение возрастает тем сильнее, чем меньше cos (рис 2, X<0). При U=0 (короткое замыкание) все характеристики пересекаются в одной точке, соответствующей значению тока трехфазного короткого замыкания.

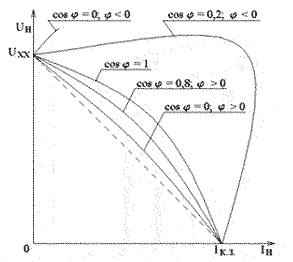


Рис. 2. ВАХ сварочного аппарата.

Рассмотрим подробнее схему и принцип работы сварочного аппарата: разберёмся в технической реализации аппарата электродуговой сварки.

Процесс электродуговой сварки (без подачи инертного или каталитического газа) заключается в создании условий для образования электрической дуги при напряжении 50...80 В между электродом и свариваемыми деталями и дальнейшим поддержанием дуги при напряжении 18...25 В для расплавления материала деталей и электрода. Источник напряжения сварочного аппарата должен обладать хорошими динамическими характеристиками. Рабочее напряжение на дуге должно быстро устанавливаться и изменяться в зависимости от длины дуги, обеспечивая ее устойчивое горение. Для постоянного тока достаточно напряжение зажигания 30 - 40 В, в то время как для переменного необходимо напряжение 40 - 60 В. Время восстановления рабочего напряжения при коротком замыкании от 0 до 30 В не должно превышать 50 мс. Ток К.З. (короткого замыкания) не должен превышать рабочий более, чем на 25 - 100%.Для этого необходим источник тока с так называемой "падающей" вольтамперной характеристикой.

Время восстановления рабочего напряжения при коротком замыкании от 0 до 30 В не должно превышать 50 мс. Ток К.З. (короткого замыкания) не должен превышать рабочий более, чем на 25 - 100%. При ручной дуговой сварке внешняя характеристика (рис. 3), источника тока должна быть падающей, т.е. напряжение должно уменьшаться с увеличением тока.

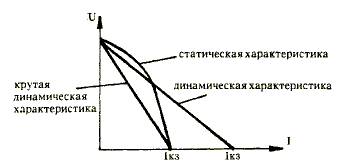


Рис. 3. Динамическая и статическая характеристики сварочного аппарата.

При крутой динамической характеристике источника питания динамические токи КЗ значительно меньше (они близки к статическим токам КЗ) и при удлинившейся дуге образуется стабильная рабочая точка. Вышеперечисленным требованиям в полной мере соответствует источник напряжения, выполненный по схеме генератора тока. Свойства такой конструкции в полной мере подходят и для зарядного устройства.

На рис. 4 показана типичная статическая ВАХ электрической дуги. При наложении на нее выходной ВАХ сварочного трансформатора легко видеть, что устойчивой точкой поддержания дуги является точка А, причем увеличение крутизны "падения" характеристики сварочного трансформатора приводит к еще большей стабилизации дуги.

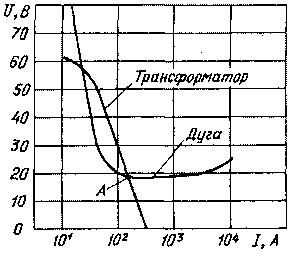


Рис. 4. Статическая ВАХ электрической дуги.

В аппаратах переменного тока, работающих от однофазной сети, дуга должна возникать при каждом полупериоде питающего напряжения, что делает более жесткими требования к аппарату и материалу электрода, чем при сварке постоянным током или трехфазным.

При изготовлении аппарата дуговой сварки часто пытаются копировать промышленные образцы, которые для обеспечения падающей характеристики в большинстве своем выполнены на основе магнитопровода с повышенным магнитным рассеянием или дросселя. В условиях домашней лаборатории на указанных принципах трудно создать аппарат с хорошими массогабаритными показателями, кроме того, он неспособен удовлетворительно работать в режиме контактной сварки, которая представляет для радиолюбителей большой интерес.

Существует принцип формирования "падающей" ВАХ способом управления углом отсечки синусоидального напряжения, позволяющий решить проблемы снижения массы аппарата, а также расширить возможности его применения. На рис. 5 показана функциональная схема сварочного аппарата, работающего по этому принципу.

Напряжение вторичной обмотки U2 трансформатора Т1 в момент замыкания контактов коммутатора тока S1 поступает на сварочный электрод. Если замыкать контакты коммутатора во второй половине полупериода напряжения сети (в момент tз, рис.6,а), то первоначальный уровень напряжения Uз обеспечит образование электрической дуги, а падающая характеристика будет следствием изменения мгновенного напряжения Un по синусоидальному закону.

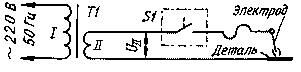


Рис. 5. Функциональная схема сварочного аппарата.

Для аппаратов, работающих на малых значениях сварочного тока, необходимо обеспечить крутопадающую характеристику. Этого достигают выбором числа витков вторичной обмотки. На рис. 6,б) показано, как можно изменять крутизну характеристики при одном и том же напряжении зажигания дуги. Таким образом, в аппарате с управлением углом отсечки вторичного напряжения есть все условия для образования электрической дуги и возможность регулирования мощности.

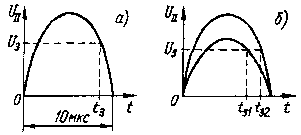


Рис. 6. Половина периода переменного напряжения на вторичной обмотке.

Другим требованием к аппаратам является обеспечение необходимого времени восстановления напряжения зажигания после замыкания цепи электрод-деталь (каплями расплава и т. п.) - не более 50 мс. В аппарате описываемой структуры это требование выполняется автоматически при высоком быстродействии коммутатора S1. Оптимизации процесса для конкретного диаметра электрода, материала детали и т. п. добиваются выбором момента замыкания контактов коммутатора S1 (tз на рис. 6,а).

При построении сварочного аппарата предпочтительно применение тороидального магнитопровода, обладающего минимальными габаритами и полем рассеяния.

Изменением времени коммутации tз можно перевести аппарат в режим жесткой выходной характеристики, что превратит его в мощный источник переменного или выпрямленного напряжения, который может работать, например, зарядным устройством, или в установке точечной контактной сварки.

**Расчет электросварочного трансформатора**

Следует отметить, что проведение точного расчета магнитопровода трансформатора нецелесообразно, так как приходится довольствоваться теми магнитопроводами, которые выпускает наша промышленность. Более того, обычно неизвестна ни марка, ни технология прокатки электротехнической стали магнитопровода, а одной магнитной проницаемости (которую, в общем, нетрудно определить) для расчета недостаточно. Можно рекомендовать следующую методику ориентировочного расчета трансформатора.

Сначала находят требуемую мощность. Основным критерием здесь служит максимальный диаметр электрода, определяющий примерное действующее значение сварочного тока. Так, для электрода диаметром 1,5 мм сварочный ток должен быть в пределах 25...40 А, для 2 мм - 60...70 А, для 3 - 100...140, для 4 - 160...200. Мощность трансформатора в ваттах равна Ртр=25\*Icв, где Icв- сварочный ток в амперах.

Далее определяют сечение магнитопровода в см.кв.: S>0,015\*Р (где Р - в ваттах). Для магнитопроводов отличных от тороидального следует увеличить сечение в 1,3...1,5 раза. Затем вычисляют диаметр в мм. провода первичной обмотки: di >= 1,13 . Диаметр в мм провода вторичной обмотки вычисляют по формуле: dii>=1,13 , где i - плотность тока в А/мм2. При токе I, меньшем 100 А, принимают i равной 10 А/мм2; при токе менее 150 А - 8 А/мм2, при токе менее 200 А - 6 А/мм2. Если используют некруглый провод, его сечение должно быть равным сечению круглого. В расчете принято, что среднее суммарное время горения дуги не превышает 20 % от среднего суммарного времени пауз между периодами горения дуги.



Теперь обычным порядком рассчитывают условия заполнения обмотками окна магнитопровода. Соотношения здесь не даны; напомним лишь о необходимости внимательно отнестись к расчету, не забыть учесть толщину слоев изоляции.

В качестве примера можно рассмотреть следующий вариант сварочного трансформатора. Его схема показана на рис. 7. Первичная обмотка сконструирована так, чтобы возможно было варьировать число витков, включенных в сеть. Намоточные характеристики трансформатора представлены в таблице.

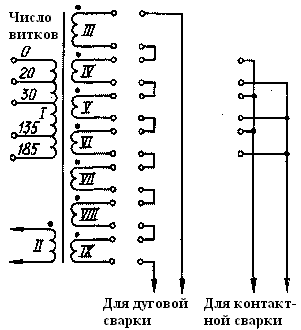


Рис. 7. схема сварочного трансформатора.

Таблица 1. Намоточные характеристики трансформатора.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Сетевой транс-форматор аппарата | Обмотка | Число витков | Провод, диаметр, мм (сечение, мм2) | Примечания |
| Меньшей мощности | 1 | 40 | ПЭВ-2 1,5 | 2 отвода: от 10-го и 220-го витка |
| 11 | 240 | МГШВ (0,35) | Пригоден любой провод сечением от 0,2 до 0,75 мм 'с изоляцией, допускающей работу при температуре не менее +80 ° |
| III IV-V11 | 20 по 5 | ПВЗ (10) ПВЗ (10) | Допустимо использование провода ПВЗ сечением 6 мм2 при намотке в "два провода |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Сетевой транс-форматор аппарата | Обмотка | Число витков | Провод, диаметр, мм (сечение, мм2) | Примечания |
| Большей мощности | 1 | 185 | ПЭВ-2 1,8 | 3 отвода: от 20-го, 30-го и 135-го витка |
| 11 | 40 | МГШВ (0,35) | Пригоден любой провод сечением от 0,2 до 0,75 мм 2 с изоляцией, допускающей работу при температуре не менее +80 °С |
| III IV-IX | 9 по 4 | (10х3) (10х3) | Допустимо использование любого провода указанного сечения с изоляцией, имеющей теплостойкость не ниже +80 °С |

Таким образом, сетевое напряжение 220 В у первого из трансформаторов (рис. 7) может быть подведено к 210, 220, 230 или к 240 виткам первичной обмотки, а у второго - к 115, 135, 155, 165 или к 185 виткам. Это позволяет в довольно широких пределах изменять коэффициент трансформации и вместе с коммутацией сильноточных обмоток III-VII (III- IX) подбирать оптимальный режим сварки. Для дуговой сварки сильноточные обмотки соединяют последовательно, а для контактной - параллельно.

В сетевом трансформаторе аппарата меньшей мощности вместо провода ПВЗ (ГОСТ 6323-79) можно использовать и другой, допускающий работу при температуре до +80 °С и имеющий указанное сечение. Магнитопровод использован от трансформатора ЛАТР-9 без какой-либо переделки. Первичную обмотку изолируют лентой из лакоткани или, в крайнем случае, черной липкой тканевой изолентой. При сварке электродами диаметром до 2 мм возможно подключение этого аппарата к бытовой сети переменного тока напряжением 220 В.

Аппарат большей мощности предназначен для сварки электродами диаметром до 4 мм при соответствующей мощности питающей сети. Магнитопровод составлен из двух от трансформаторов ЛАТР-9, у которых внутренний диаметр увеличен до 80 мм - удалена часть витков стальной ленты - для размещения обмоток. Снятые два отрезка стальной ленты намотаны на магнитопроводы и закреплены с внешней стороны.

На выводы обмоток III-VII трансформатора аппарата меньшей мощности надевают и пропаивают наконечники с отверстием под винт М5. Можно использовать стандартные наконечники 10-5-5 (ГОСТ 7386-80), 10-5-М (ГОСТ 22002.1-82) или вырубить их зубилом из медного (латунного) листа толщиной не менее 1 мм. При дуговой сварке обмотки соединяют последовательно, при контактной - параллельно, как показано на рис. 7. Число подключенных обмоток может изменяться в зависимости от требуемой крутизны падающей характеристики при дуговой сварке, или для обеспечения допустимого тока через обмотки при контактной сварке. В аппарате большей мощности наконечники не нужны, отверстия под винт М5 сверлят непосредственно в выводах у их конца.

**Список литературы**

1. Вересов Г. П. Электропитание бытовой РЭА. М.,1983.

2. Белопольский И. И., Пикалова Л. Г. Расчет трансформаторов и дросселей малой мощности. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. - 272с.

3. Сидоров И. Н., Скорняков С. В. Трансформаторы бытовой РЭА. М.: Радио и связь, 1994. - 367с.

4. Каретников К. А. Расчет трансформаторов и дросселей. М..:, 1973. - 272с.

5. Эраносян С. А. Сетевые блоки питания с высокочастотным преобразованием. Л.:Энергоатомиздат, 1991.

6. А. С. 1317420 СССР, МКИ 05 1/569 Источник питания с бестрансформаторным входом.

7. Простаков В. Г. Открытия, изобретения. 1987.N22.

8. Петров А. Эффективный импульсный стабилизатор напряжения. Радиолюбитель. N1, 1993, с. 29,