

## 2. Анатомия микроволновой печи

Прежде чем перейти к содержанию новой главы, коротко рассмотрим ее структуру и мотивы именно такого изложения материала. В настоящее время количество названий микроволновых печей измеряется сотнями и постоянно появляются новые модели. Поэтому в рамках одной книги невозможно подробно описать работу всех существующих микроволновых печей. Кроме того, в этом нет никакого смысла, поскольку многие их узлы и связанные с ними неприятности похожи, как близнецы. Вероятность того, что читателю придется ремонтировать микроволновку, не представленную в данной книге, достаточно велика. Поэтому материал излагается следующим образом: вначале описывается конструкция стандартной микроволновой печи и подробно рассматривается работа, особенности и типичные неисправности каждого узла. Затем таким же образом рассматривается работа типовых принципиальных схем. А при описании конкретных схем, приведенных в книге, внимание уделено только специфическим особенностям, присущим только данной модели.

Типовая конструкция микроволновой печи со снятым кожухом показана на рис. 2.1. Попытаемся изучить ее анатомию. Предварительно заметим, что, несмотря на кажущееся многообразие микроволновых печей, их внутреннее строение практически одинаково. В некоторые печи введены дополнительные элементы (гриль, конвектор и т.д.), однако это никак не отражается на тех элементах, которые обеспечивают микроволновый нагрев. Напрашивается сравнение из области физиологии. Страус внешне мало чем похож на воробья, однако оба состоят из органов, которые одинаковы и по названию, и по функциональному назначению, и по принципу действия.

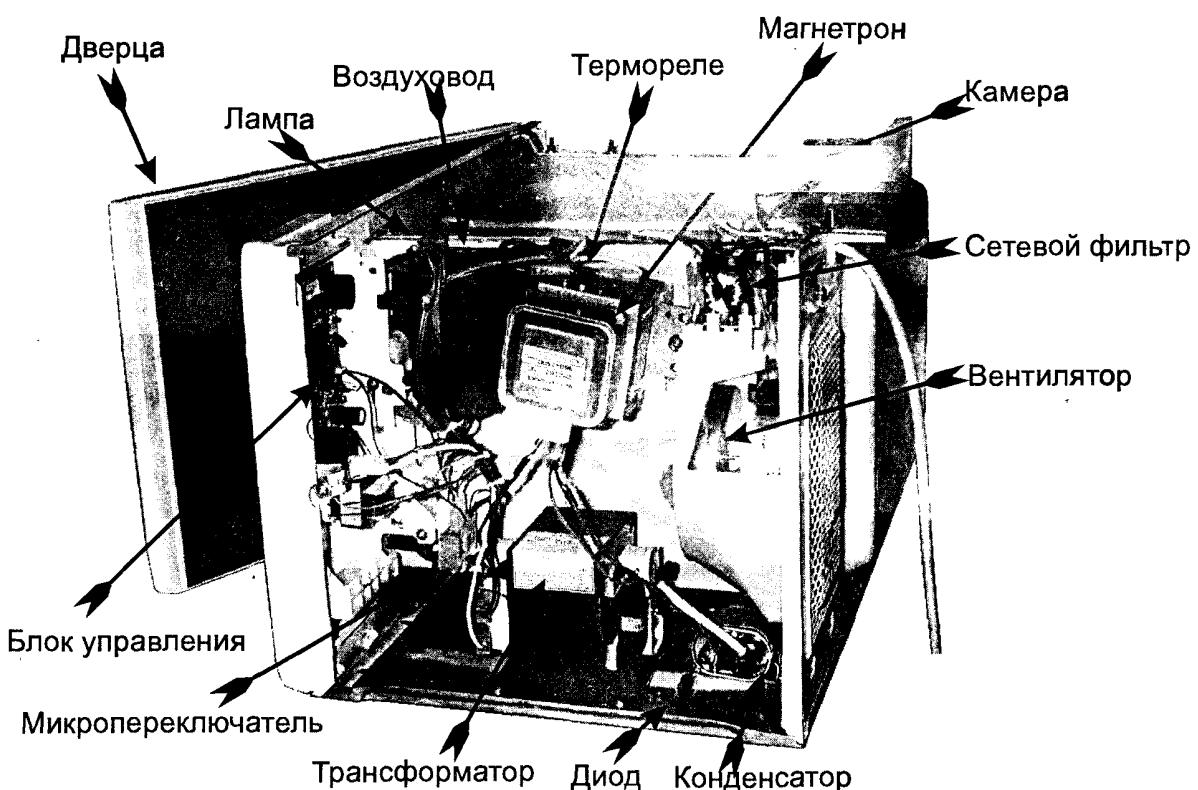


Рис. 2.1. Внешний вид микроволновой печи со снятым кожухом

Приготовление пищи происходит в металлической камере, снабженной дверцей для защиты от излучения. Для обеспечения равномерного нагрева пищи служит вращающийся столик, который приводится в движение микродвигателем, находящимся под камерой. Иногда вместо вращающегося столика с той же целью используется диссектор — металлическая деталь, по внешнему виду напоминающая пропеллер, который располагается в верхней части камеры и прикрывается диэлектрическим окном из радиопрозрачного материала. Микроволновая энергия поступает в камеру от магнетрона, как правило, через отрезок прямоугольного волновода. Для охлаждения магнетрона в процессе работы предназначен вентилятор. Теплый воздух от магнетрона через воздуховод направляется в камеру, обеспечивая дополнительный подогрев пищи, и затем вместе с образуемым паром выводится наружу через специальные неизлучающие отверстия. Высоко-

вольтный блок питания магнетрона состоит из трансформатора, конденсатора и диода. Часто имеется также фьюз-диод, назначение которого мы выясним позже. Чтобы не допустить работу микроволновой печи с неплотно закрытой дверцей, используются блокировочные микропереключатели. В зависимости от типа микроволновой печи их насчитывается от 2 до 5 штук. Освещение в камере осуществляется пампой накаливания, обычно расположенной внутри воздуховода. Режим работы печи задается с помощью блока управления. Последний может быть выполнен либо в виде электромеханического таймера, либо в виде электронного блока, как правило, на основе микроконтроллера. Для предотвращения наводок от работающей микроволновой печи во внешнюю цепь используется сетевой фильтр, на котором размещены также один или два предохранителя. Чтобы исключить выход печи из строя из-за перегрева, многие из них имеют термореле, которые обычно располагаются на магнетроне и на камере с внешней стороны.

Мы рассмотрели конструкцию стандартной микроволновой печи. Можно сказать, что любая печь содержит вышеперечисленные элементы. Исключения можно пересчитать по пальцам, поэтому там, где имеются отклонения, о них будет сказано особо. Теперь перейдем к более детальному изучению узлов, составляющих микроволновую печь.

## 2.1. Камера микроволновой печи

Основная проблема, возникающая в камере микроволновой печи, — это неравномерность нагрева продукта. Причина заключается в том, что камера, по сути, представляет собой резонатор, колебания в котором происходят в виде стоячих волн. Особенностью стоячих волн является наличие пространственных максимумов и минимумов электрического поля. Для наглядности на рис. 2.2а — д показано изменение электрического поля за полпериода колебаний на виде  $H_{220}$ .

Выбор данного вида обусловлен тем, что он не имеет вариаций поля вдоль координаты Z, поэтому в любом сечении, в плоскости X-Y, распределение поля одинаково. Это позволяет вместо координаты Z изобразить амплитуду напряженности электрического поля, что облегчает понимание происходящих процессов. Вдоль координат X и Y амплитуда поля меняется по синусоиде. Так как вдоль каждой из координат обычно укладываются несколько полупериодов, то в рабочей части камеры имеются точки, в которых поле равно нулю. Для нагрева продукта полярность электрического поля не имеет значения, поэтому в дальнейшем приводятся рисунки, в которых по вертикальной оси отложен квадрат амплитуды, характеризующий выделяемую в продукте мощность P (рис. 2.2е).

Из рисунка хорошо видно, что при работе на одном виде колебаний мощность в камере распределена очень неравномерно, изменяясь от нуля до своего максимального значения, поэтому продукт в одно и то же время может в одних местах подгорать, а в других оставаться совершенно холодным.

Камера микроволновой печи работает на высших видах колебаний, количество которых может быть достаточно велико. Например, на рис. 2.3а показаны виды колебаний, существующие в камере с поперечными размерами 20x26x20 см. Нетрудно заметить, что по мере удаления от основной частоты плотность видов колебаний возрастает, стремясь в бесконечности к сплошному спектру. Для равномерного нагрева желательно иметь как можно больше видов вблизи рабочей частоты. Достичь этого при фиксированной частоте излучения генератора можно несколькими путями. Один из них — увеличение размеров камеры. В этом случае основной вид и все последующие смещаются в область низких частот, а на рабочей частоте окажутся более плотно расположенные высокочастотные виды (рис. 2.3б). Загрузка камеры приводит примерно к такому же результату, что и увеличение ее размеров. Это объясняется тем, что продукты питания, примерно на 80% состоящие из воды, имеют большую диэлектрическую проницаемость. А при заполнении резонатора диэлектриком с  $\epsilon_r > 1$  его резонансные частоты смещаются в область более низких значений. При загрузке камеры снижается также и ее добротность, что, в свою очередь, приводит к расширению полосы рабочих частот и, как следствие, к увеличению количества рабочих видов колебаний. Это хорошо видно из рассматриваемых рисунков, в которых затененной областью отмечены рабочие виды колебаний при малой (рис. 2.3а) и большой (рис. 2.3б) загрузках камеры.

Необходимо отметить, что амплитуды показанных на рис. 2.3 видов неодинаковы и в зависимости от вида колебаний и способа возбуждения они могут меняться в широких пределах. Практически очень трудно создать элемент возбуждения, благоприятный для всех видов. Как правило, некоторые виды либо плохо возбуждаются, либо не возбуждаются совсем. Кроме того, само по себе наличие большого количества видов еще не обеспечивает равномерного нагрева. Суммарное электрическое поле, образованное суперпозицией всех видов колебаний, может быть очень слож-

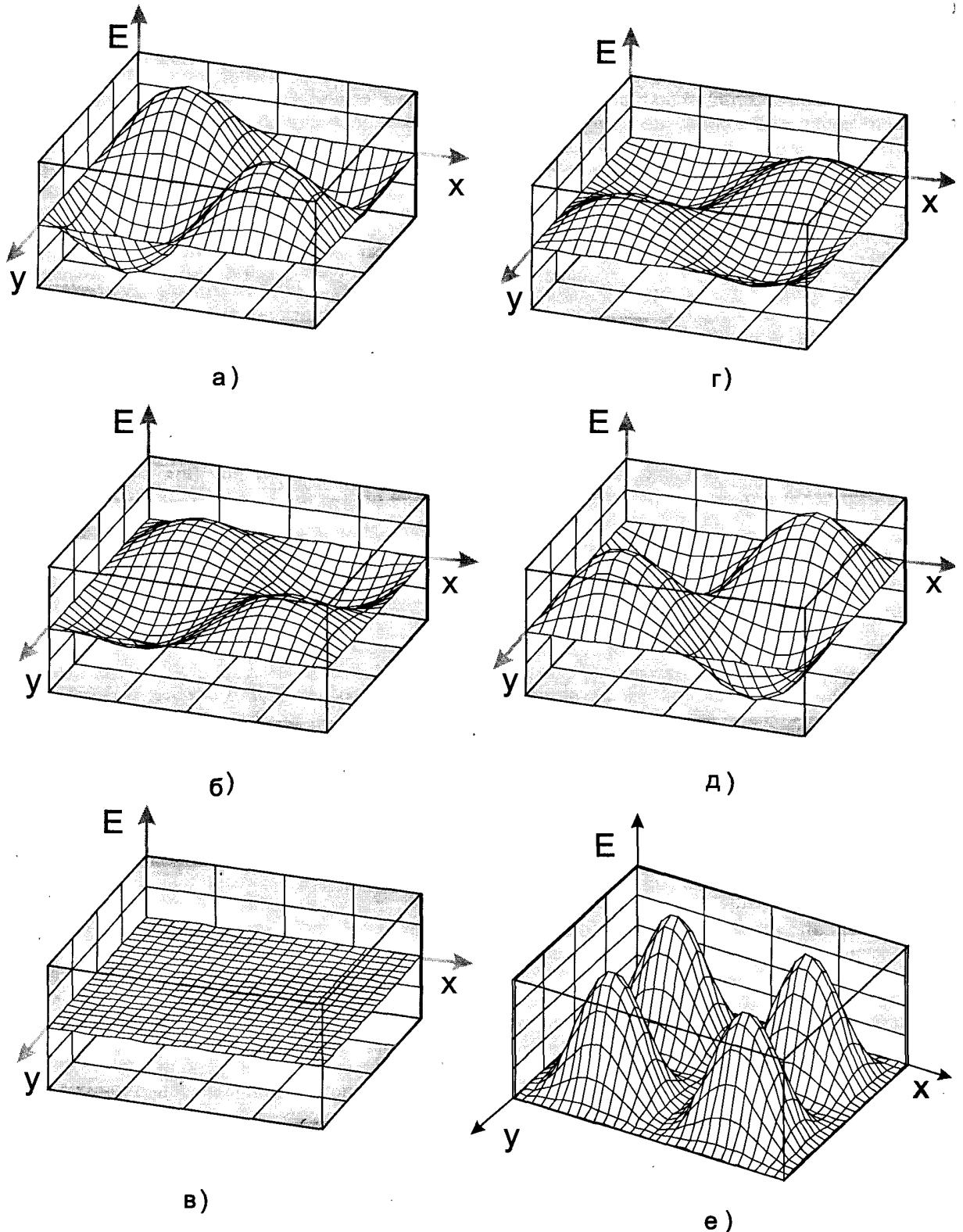


Рис. 2.2. Изменение распределения электрического поля (а — д) и распределение мощности (е) в камере микроволновой печи на виде  $H_{220}$  за полпериода колебаний

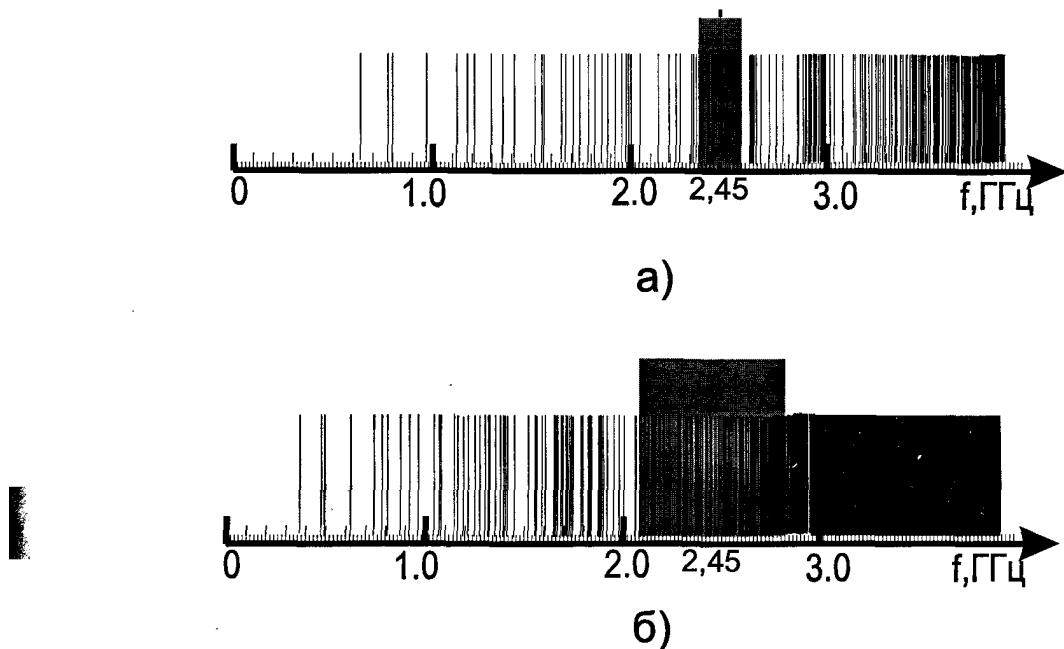


Рис. 2.3. Спектр резонансных частот при малой (а) и большой (б) загрузках камеры. Затененной областью отмечены рабочие виды колебаний

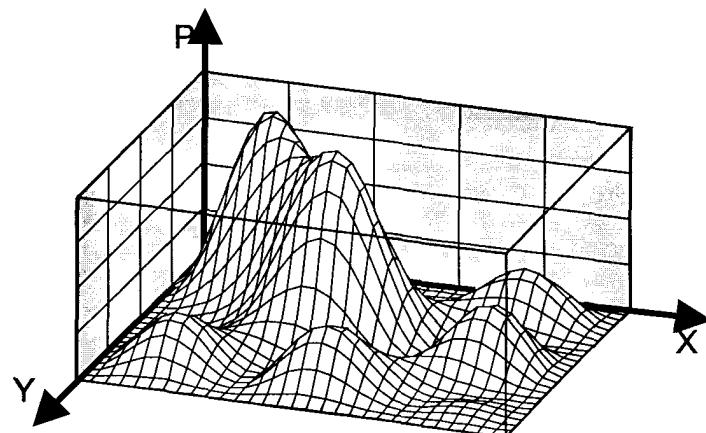
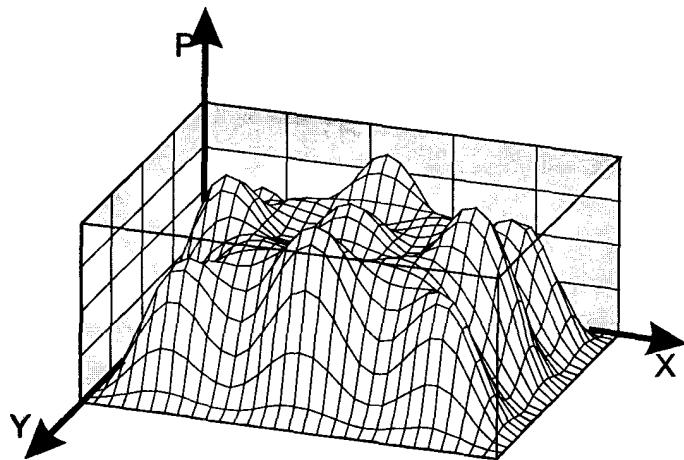


Рис. 2.4. Распределение мощности в камере при одновременном возбуждении видов  $H_{110}$ ,  $H_{120}$ ,  $H_{210}$ ,  $H_{220}$ ,  $H_{330}$ ,  $H_{440}$

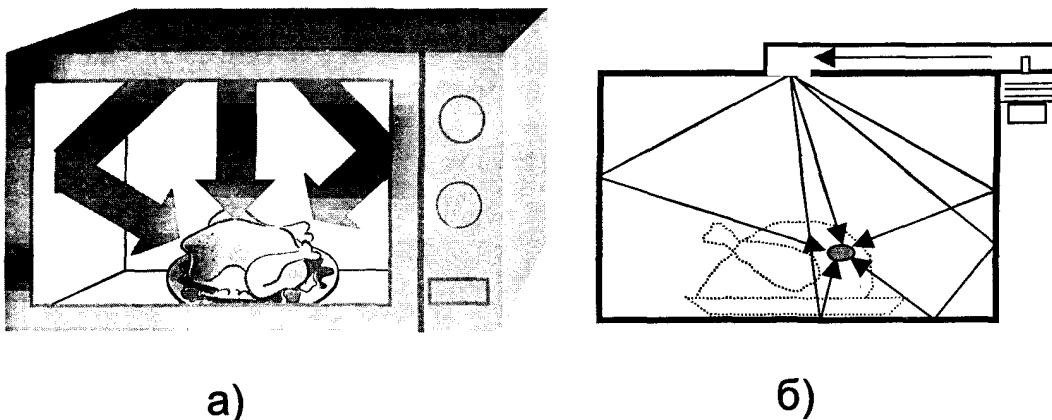
ным, но в любом случае из-за чередования направленности оно будет содержать максимумы и нулевые точки. Пример такого поля приведен на рис. 2.4.

При наличии поглощающей нагрузки, каким является продукт, распределение полей в камере усложняется. Наряду с рассмотренными ранее  $E$  и  $H$  видами появляются гибридные виды колебаний, характеризующиеся наличием составляющих магнитного и электрического полей по всем трем координатам. Это способствует некоторому выравниванию температуры нагрева в различных частях камеры. Причем, чем больше продукта находится в камере, тем равномернее происходит его нагрев. Выравнивание температуры происходит также за счет конвекции и теплопроводности. Однако всего этого явно недостаточно для нормального приготовления продуктов. Исправить положение можно, если имеющиеся виды колебаний или хотя бы часть из них включать поочередно. Добавление или, наоборот, изъятие любого вида приводит к изменению общей структуры электрического поля. То же самое происходит, когда меняется соотношение амплитуд различных видов. Участки с максимальной и минимальной амплитудой смешаются в пространстве камеры и могут меняться местами. В результате каждый участок продукта в процессе приготовления пищи поочередно подвержен влиянию полей различной конфигурации и интенсивности. При большом ко-

личестве комбинаций нагрев в рабочей области камеры может быть достаточно равномерным. Исключение составляют участки вблизи ребер и в углах камеры, где поле даже теоретически не может быть велико. В качестве примера на рис. 2.5 показано распределение плотности мощности электромагнитного поля за некоторый промежуток времени при последовательном возбуждении нескольких видов.



**Рис. 2.5.** Распределение средней мощности в камере при поочередном возбуждении видов  $H_{110}$ ,  $H_{120}$ ,  $H_{210}$ ,  $H_{220}$ ,  $H_{330}$ ,  $H_{440}$



**Рис. 2.6.** Поглощение энергии

В построении двух последних рисунков участвовали одни и те же виды колебаний, но отличия в конечном результате видны невооруженным взглядом. Таким образом, даже относительно небольшое число видов при их правильном возбуждении могут обеспечить требуемую равномерность нагрева продукта. Суворов говорил, что воевать нужно не числом, а умением, и, как видим, его слова справедливы не только на полях сражений.

Рассмотрим этот же вопрос с несколько иной точки зрения. Очень часто в инструкциях по использованию микроволновой печи приводятся рисунки, поясняющие принцип ее действия (рис. 2.6а). Суть комментариев к таким рисункам сводится к следующему: микроволновая энергия от генератора, поступая в камеру, поглощается продуктами либо непосредственно, либо после одного или нескольких отражений от ее стенок. В результате этого продукт нагревается сразу со всех сторон. Не оспаривая по существу такой комментарий, хочется предостеречь читателя от ложных выводов, которые могут быть на нем основаны. Обратимся к рис. 2.6б, на котором схематично изображен рассматриваемый процесс. Выделим в объеме продукта небольшой кусочек и посмотрим, как будет происходить его нагрев. Микроволновая энергия может поступать в выделенный объем различными путями, часть из которых отмечена стрелками. Напряженность электрического поля в интересующем нас объеме будет векторной суммой полей, образованных волнами всех направлений. Векторная сумма подразумевает, что в процессе сложения учитывается не только численное значение напряженности поля, но и его пространственная ориентация. Отсюда следует, что сум-

марное поле может оказаться меньше, чем каждое из слагаемых. Арифметическое сложение амплитуд непригодно даже в том случае, когда пространственная ориентация всех полей одинакова, поскольку волны, добравшиеся до рассматриваемого участка разными маршрутами, наверняка будут отличаться фазами. Следствием этого будет интерференция волн, приводящая к тому, что в разных точках сумма одних и тех же волн будет давать разный результат. Диапазон этих изменений будет колебаться от нуля до арифметической суммы амплитуд. Для того, чтобы поле действительно равномерно со всех сторон проникло в продукт, необходимо волны, идущие по разным направлениям, разделить во времени. В итоге мы пришли к тем же выводам что и прежде, когда рассматривали камеру как резонатор.

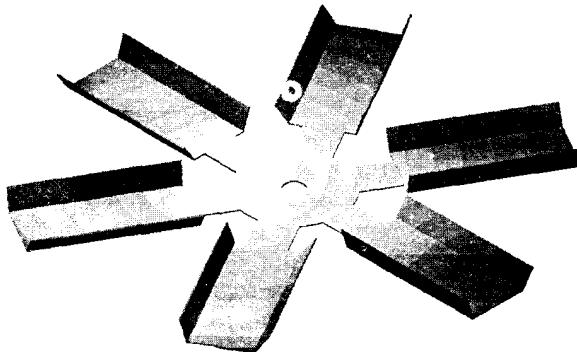


Рис. 2.7. Диссектор

Существует много различных устройств, реализующих селекцию видов во времени. Наибольшее распространение получили диссектор и вращающийся столик. Типичная конструкция диссектора показана на рис. 2.7.

Он представляет собой несколько метаптических лопастей различной конфигурации, закрепленных на общей оси, которые расположены в непосредственной близости от входа СВЧ энергии. Принцип действия диссектора состоит в следующем: во время вращения он своими лопастями возмущает электромагнитное поле в том месте, где СВЧ энергия поступает в камеру. В результате некоторые из существующих видов могут подавляться. При вращении диссектора условия возбуждения для различных видов меняются, в зависимости от взаимного расположения входа энергии и ближайших к нему лопастей. Поэтому спектр электромагнитных колебаний, а соответственно и структура поля в камере постоянно видоизменяются. Для большей эффективности лопасти диссектора делают неодинаковыми, так чтобы каждая попасть по-своему влияя на условия возбуждения. Дополнительный результат достигается за счет того, что вращение диссектора периодически изменяет форму камеры, что влияет на резонансные частоты. Однако этот эффект не стоит переоценивать. Если лопасти находятся на заметном расстоянии от входа энергии, добиться высокой равномерности нагрева практически невозможно.

Достоинством диссектора является простота его конструкции и, как следствие, низкая стоимость и высокая надежность.

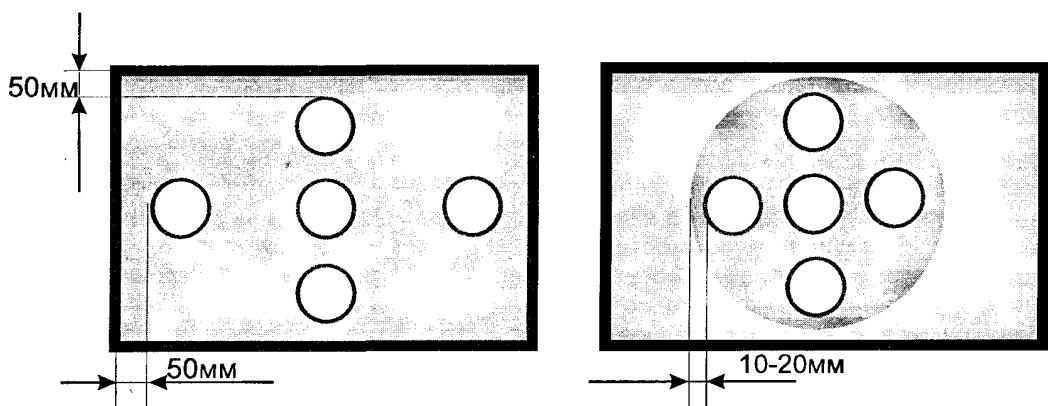
Недостатки напрямую связаны с принципом его действия. Чем лучше условия для перемешивания поля, тем хуже условия согласования. В настоящее время не существует способа, позволяющего рассчитать диссектор так, чтобы при любом угле поворота он влиял только на те виды колебаний, которые мы хотим подавить, не затрагивая остальные. Практически всегда подавляются все виды, только в разной степени. Поэтому при вращении диссектора постоянно меняется согласование камеры с СВЧ трактом. И, естественно, не в лучшую сторону. Как отмечалось в предыдущей главе, ухудшение согласования приводит к более напряженному режиму работы магнетрона и к снижению его К.П.Д. Таким образом, настройка диссектора — это всегда компромисс между согласованием и равномерностью нагрева, которая, как правило, не очень высока. Поэтому может возникнуть желание самостоятельно исправить положение. Настоятельно рекомендую не делать этого без крайней необходимости, особенно в импортных печах. Иначе может оказаться, что после первого же усовершенствования каждый ваш последующий шаг будет безрезультатной попыткой вернуть все в предыдущее состояние. Приступить к ремонту следует только при наличии явных неисправностей в работе диссектора, к которым можно отнести искрение, отсутствие вращения и слишком большую неравномерность нагрева.

Искрение возникает, когда лопасти диссектора в момент вращения соприкасаются или очень близко приближаются к металлической оболочке камеры. Причиной этого может быть некоторый

наклон оси вращения. УстраниТЬ искрение можно, либо выправив ось, либо отогнув лопасти диссектора таким образом, чтобы зазор между ними и камерой нигде не снижался менее чем до 4 — 5 мм.

Вращение диссектора в микроволновых печах обеспечивается двумя способами: воздушным потоком от вентилятора, охлаждающего магнетрон, или с помощью ременной передачи. Последний вариант характерен для печей российского производства. В этом случае наиболее вероятная неисправность — это обрыв одного из пассиков между шкивами вентилятора и диссектора. При использовании первого способа отсутствие вращения может быть вызвано несколькими причинами. Большинство из них выявляется сразу после вскрытия, и рассматривать их мы не будем. Менее очевидные причины связаны с плохой работой вентилятора. Иногда его лопасти прокручиваются на оси, а иногда он не достигает нужных оборотов. В результате мощность воздушного потока оказывается недостаточной для раскрутки диссектора. Кроме того, это негативно сказывается на охлаждении магнетрона.

До сих пор равномерность нагрева мы характеризовали терминами "хорошая" и "плохая". Такой градации явно маловато, даже для самой примитивной регулировки. Все равно что деньги считать, оперируя понятиями "мало" и "много". Используя такую "систему исчисления", товарно-денежные отношения между продавцом и покупателем вполне могут окончиться безрезультатно, если не считать результатом факты рукоприкладства. Чтобы избежать подобных недоразумений, существует ряд стандартов, позволяющих оценить равномерность нагрева в численной форме. При этом следует помнить, что любой стандарт определяет ее лишь приближенно, тем более, что и сама равномерность нагрева величина не постоянная, а зависит от вида и количества загружаемого продукта.



**Рис. 2.8. Расположение стаканов в камере микроволновой печи при измерении равномерности нагрева**

В соответствии с НВН-100 ГОСТ 19308-80, для определения равномерности нагрева на дно камеры микроволновой печи устанавливают 5 стаканов, содержащих по  $100 \pm 3$  мл водопроводной воды. Стаканы располагаются так, как показано на рис. 2.8.

Температура воды, которая не должна превышать  $+20^{\circ}\text{C}$ , измеряется ртутным термометром с ценой деления  $0.1^{\circ}\text{C}$ . После этого на 2 минуты производится включение СВЧ нагрева. Затем в течение не более 15 секунд вода в стаканах перемешивается и измеряется ее конечная температура.

Коэффициент равномерности определяется по формулам:

$$k = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta t_c - \Delta t_i|}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i}$$

$$\Delta t_c = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta t_i}{n}$$

$$\Delta t_i = t_{ih} - t_{ik}$$

где  $t_{ik}$  и  $t_{ih}$  — температура воды в  $i$ -м стакане после нагрева и до него.

Приведем численный пример: предположим, что начальная температура во всех стаканах имела 12°C. После нагрева температура в стаканах распределилась следующим образом:

№ стакана      Температура, °C

1	40
2	50
3	41
4	37
5	42

Вычислим приращение температуры  $\Delta t_i$  для каждого стакана:

№ стакана       $\Delta t_i$

1	40-12=28
2	50-12=38
3	41-12=29
4	37-12=25
5	42-12=30

Найдем среднюю температуру  $\Delta t_c$ :

$$\Delta t_c = \frac{28 + 38 + 29 + 25 + 30}{5} = 30$$

Определим отклонение от средней температуры  $|\Delta t_c - \Delta t_i|$ :

№ стакана	$ \Delta t_c - \Delta t_i $
1	$ 30-28 =2$
2	$ 30-38 =8$
3	$ 30-29 =1$
4	$ 30-25 =5$
5	$ 30-30 =0$

Найдем коэффициент равномерности К:

$$K = 1 - \frac{2 + 8 + 1 + 5 + 0}{28 + 38 + 29 + 25 + 30} \approx 0.89$$

Отраслевой стандарт ОСТ 11 0367-83 утверждает, что коэффициент равномерности должен быть не менее 0.7. Отчасти с этим можно согласиться, поскольку при коэффициенте ниже 0.7 ни о какой равномерности говорить не приходится. Однако эта цифра не может считаться образцом, на который следует равняться, и скорее свидетельствует о стремлении оградить отечественного производителя от необузданых притязаний потребителя. Хорошо спроектированные и изготовленные печи имеют коэффициент равномерности более 0.9.

Другим устройством, обеспечивающим равномерный нагрев продукта, является вращающийся поддон. Конструктивно он обычно состоит из микродвигателя со встроенным редуктором, стеклянного или металлического поддона и муфты, снабженной роликами (рис. 2.9).

На первый взгляд, принцип действия рассматриваемой конструкции очевиден и не требует комментариев. Вращаясь в неравномерно распределенном электрическом поле, каждая точка продукта (за исключением центра вращения) поочередно попадает в места с разной интенсивностью поля. В течение полного оборота поглощаемая мощность усредняется, что дает выравнивание температуры. Не отрицая существования описанного эффекта, добавим к нему еще один, не менее

значимый. Если продукт физически неоднороден или расположен несимметрично относительно центра вращения (обычно так и бывает), то при его вращении распределение полей различных видов колебаний будет заметно меняться. В этом случае сам продукт выступает в роли диссектора, причем более эффективного, чем металлический. Поэтому даже в центре вращения напряженность электрического поля будет постоянно изменяться, обеспечивая дополнительную равномерность нагрева. При такой конструкции теоретически возможен равномерный нагрев, даже если имеется всего один вид колебаний.

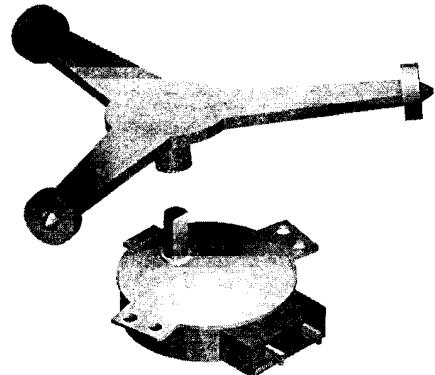


Рис. 2.9. Микродвигатель и муфта, обеспечивающие вращение поддона

Таким образом, достоинством вращающегося поддона является более высокая по сравнению с диссектором равномерность нагрева и лучшее согласование камеры с СВЧ трактом, поскольку в этом случае равномерность нагрева обеспечивается не за счет подавления видов.

Неисправности вращающегося поддона в основном связаны с выходом из строя микродвигателя, но, прежде чем приступить к его замене или ремонту, необходимо убедиться, во-первых, что на него поступает напряжение 220 В, а во-вторых, что муфта, посаженная на вал двигателя, не прокручивается. Для замены подойдет любой двигатель от микроволновой печи, если он соответствует по габаритам и крепежным отверстиям. В микродвигателях обычно встречаются два типа поломок: перегорание обмотки или обламывание зубьев пластмассовых шестеренок во встроенным редукторе. Для того чтобы разобрать двигатель, необходимо отжать зажимы на лицевой стороне и снять верхнюю крышку. Дальнейшая разборка сложности не представляет, но, если не запомнить, в каком порядке расположены шестерни редуктора, проблемы возникнут при последующей сборке.

Обмотка двигателя представляет собой обычную катушку с тонким изолированным проводом, и для ремонта достаточно его заменить. Типичный двигатель содержит примерно 5000 — 6000 витков провода диаметром 0.03 мм. Можно использовать и провод диаметром 0.05 мм, при ремонте это даже предпочтительней, поскольку он прочнее и меньше рвется при намотке. Более толстый провод может не уместиться на катушке.

Если неприятности возникли из-за поломки зуба в одной из шестеренок редуктора, то в некоторых случаях удается оказать эффективную "стоматологическую" помощь. Для этого на месте сломанного зуба, разогретым паяльником можно вплавить маленький кусочек стального провода, например от канцелярской скрепки, подходящего диаметра. Внешний вид шестерни с аналогичным "протезом" показан на рис. 2.10.

В микроволновых печах с металлическим поддоном иногда возникает искрение между ним и дном камеры. Это происходит при разрушении эмали, покрывающей поддон, как правило, на самой кромке. Устранить искрение можно путем изоляции мест с поврежденной эмалью, например тонким слоем лака, эмали или эпоксидного клея.

В некоторых печах (например, "Электроника СП-25") не совсем удачно выбран материал для роликов. В результате они со временем теряют форму и перестают вращаться. В этом случае ролики требуется заменить. Из доступных материалов наиболее подходящими для изготовления новых роликов являются фторопласт-4 (тэфлон) и полиэтилен.

Место ввода СВЧ энергии в камеру прикрывается специальной крышкой из непоглощающих изоляционных материалов. Это сделано для того, чтобы предотвратить попадание влаги и грязи в волновод и на антенну магнетрона. Загрязнение изолятора антенны может привести к поверхностному электрическому пробою и, как следствие, к выходу магнетрона из строя. При нормальной ра-

боте крышка практически не поглощает энергии и не влияет на нагрев микроволновой печи. Тем не менее не редки случаи, когда упомянутая деталь начинает интенсивно гореть, с искрением и едким дымом. В подавляющем большинстве случаев причины такого буйного поведения мирной детали кроются в неправильной эксплуатации печи. Основная причина — это включение при недостаточной загрузке или вовсе без нее. Какими бы малыми ни были поглощающие свойства крышки, но, если в камере печи больше нет объектов, где бы микроволновая энергия могла продемонстрировать свою мощь, она начинает перегреваться, а из-за повышенной напряженности электрического поля, существующей при недостаточном объеме загрузки, на ее поверхности возникают пробои. Результатом таких пробоев будет обугливание некоторой части крышки, поэтому в дальнейшем процесс может лавинообразно нарастать, даже если последующие включения печи производить в соответствии с правилами. Еще одной причиной, приводящей к аналогичным последствиям, может служить чрезмерная загрязненность крышки. Диэлектрические свойства грязи далеки от идеальных, поэтому она будет поглощать энергию и перегреваться. При определенных условиях температура загрязнений может дойти до такого значения, при котором они начнут обугливаться. Дальнейший ход событий полностью повторяет предыдущий сценарий.

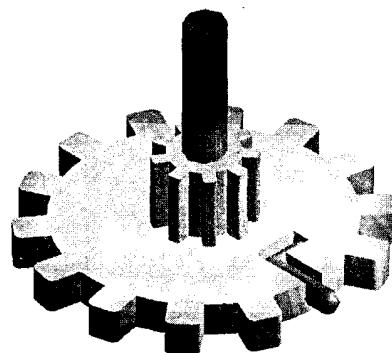


Рис. 2.10. Пластмассовая шестерня с восстановленным зубом

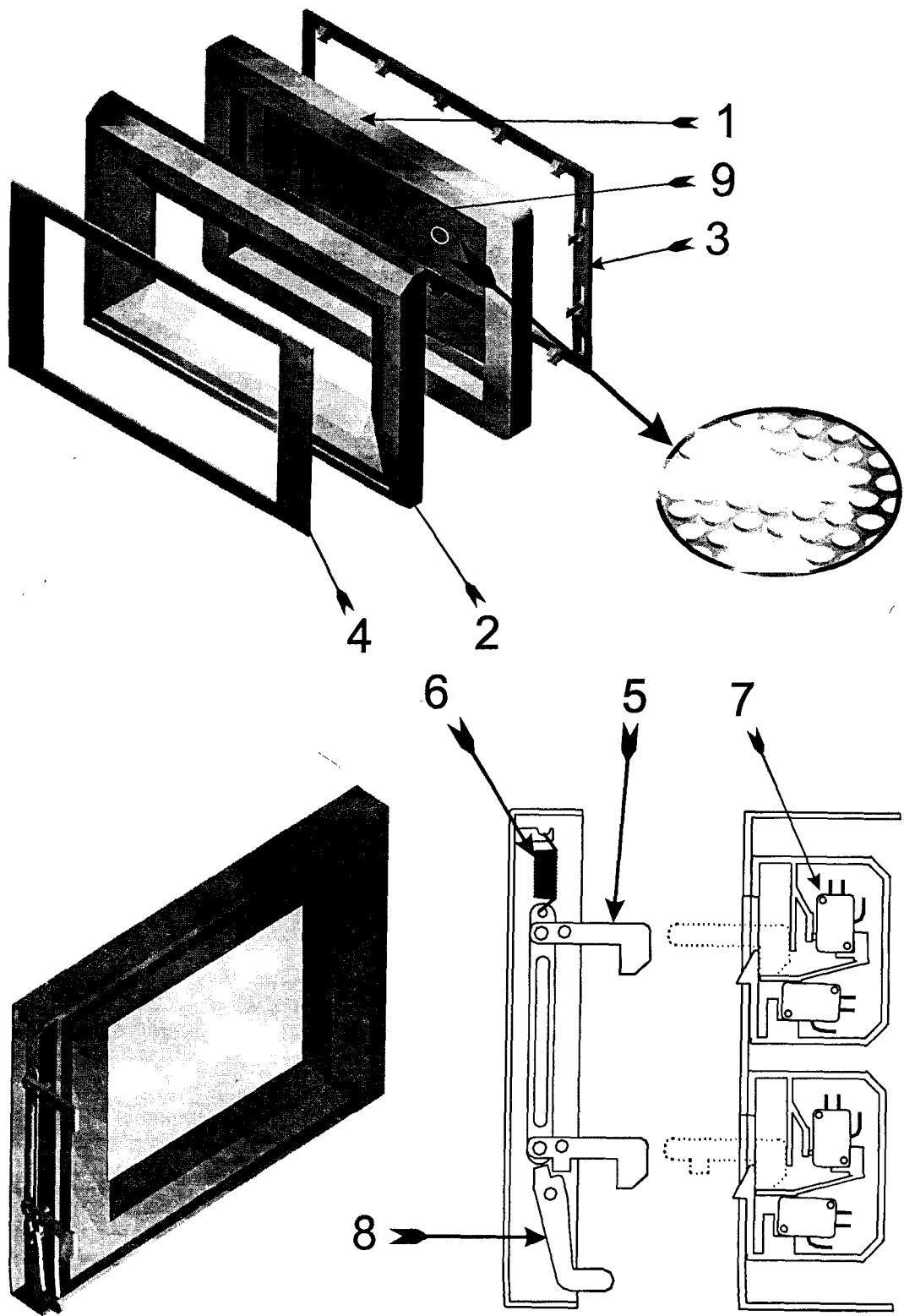
Если процесс обугливания не зашел слишком далеко, восстановить работоспособность микроволновой печи можно, сняв крышку и удалив загрязненные и обуглившимся места. Выражение "не слишком далеко" означает, что в процессе зачистки вы удалили все лишнее и при этом не дошли до сквозных отверстий. Качество своей работы вы легко можете проверить, посмотрев крышку на просвет. Обугленные участки менее прозрачны и поэтому затемнены. Новую крышку можно изготовить самому. Самое главное — подобрать подходящий материал, прозрачный для микроволн. Для этой цели может быть использован фторопласт или полиэтилен. Толщину следует выбирать минимальной, но обеспечивающей необходимую жесткость. Обычно это 0.5 — 1.0 мм. При небольших размерах крышки ее можно с успехом вырезать из коробки из-под сливочного масла, удалив при этом краску.

Одна из наиболее важных и технически сложных деталей микроволновой печи — это дверца камеры. С одной стороны, она должна обеспечить быстрый доступ к камере и возможность визуального наблюдения за процессом приготовления пищи, а с другой — обеспечить надежную защиту от микроволнового излучения. Рассмотрим устройство типичной дверцы микроволновой печи (рис. 2.11).

Основная ее деталь — это металлический каркас 1, имеющий специально рассчитанный профиль. Для улучшения дизайна каркас помещен в декоративную пластиковую оболочку 2. С той же целью имеющиеся с внутренней стороны пазы прикрыты пластиковым вкладышем 3. Назначение прозрачного плексигласового окна 4 в комментариях не нуждается.

Для фиксации дверцы в закрытом состоянии служат запоры 5 и пружина 6. При закрытии дверцы запоры нажимают кнопки блокировочных микропереключателей 7, разрешающих работу электрической схемы. При открытой или неплотно закрытой дверце, если кнопка хотя бы одного из микропереключателей оказывается не нажатой, электрическая цепь оказывается разомкнутой и микроволновая печь не включится, как бы старательно и долго вы ни нажимали на кнопку "ПУСК". Рычаг 8 позволяет отжать запоры и открыть дверцу (механизм, соединяющий рычаг с кнопкой "ОТКРЫТЬ", на рисунке не показан).

Для обеспечения визуального наблюдения за процессом приготовления пищи в дверце микроволновой печи имеется окно 9, выполненное из тонкого, плотно перфорированного металлического писта, который, как правило, приваривается к каркасу дверцы. Иногда окно изготавливают в



Ис. 2.11. Дверца микроволновой печи

едином технологическом цикле с каркасом, путем перфорации последнего в надлежащем месте. Размеры отверстий в окне не превышают 3 мм, что практически полностью исключает проникновение сквозь них микроволновой энергии.

Между корпусом и дверцей микроволновой печи почти всегда имеются щели. Очень сложно обеспечить плотный контакт этих деталей по всему периметру в течение всего срока эксплуатации. Если не принять соответствующих мер, микроволновое излучение будет проникать сквозь эти щели наружу, даже если их размер относительно невелик. Чтобы исключить такое развитие событий, в дверце имеется специальное устройство, именуемое СВЧ дросселем. Конструктивно он выполнен в виде паза, проходящего по всему периметру контакта дверцы с корпусом. На рис. 2.12 показано поперечное сечение дросселя. В разных микроволновых печах форма его профиля может несколько отличаться от приведенной на рисунке, но принцип действия всех дросселей одинаков.

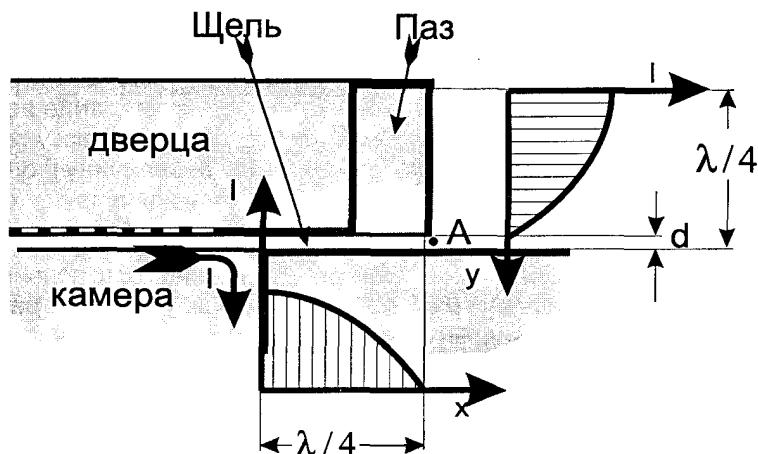


Рис. 2.12. Принцип действия дроссельного уплотнения

Как было показано в первой главе, излучение сквозь щель возникает в том случае, когда она обрывает линии СВЧ тока. Если в месте ее расположения СВЧ токи отсутствуют или ориентированы вдоль щели, излучения наблюдаться не будет. Таким образом, задача подавления СВЧ излучения сводится к тому, чтобы в месте контакта дверцы с камерой устраниТЬ поперечные СВЧ токи. Решая поставленную задачу в лоб, успеха не добиться, поскольку, обеспечивая равномерность нагрева, мы приняли все меры, чтобы направление и амплитуда СВЧ токов постоянно менялись. Рассмотрим, как справляется с этой проблемой СВЧ дроссель.

Паз располагается на расстоянии в четверть длины волны от отверстия камеры. Его глубина также равна  $\lambda/4$ . Два четвертьволновых отрезка образуют полу волновую линию с коротким замыканием на ее конце и разрывом в точке А, находящейся в середине линии. В короткозамкнутой полуволновой линии электромагнитное поле существует в виде стоячей волны. Это означает, что пространственное распределение электрического и магнитного поля, а следовательно, и токов не меняется. При выбранных размерах паза и расстоянии от него до камеры распределение токов вдоль зазора и паза будет таким, что в месте разрыва ток практически равен нулю. Поэтому прохождение электромагнитной энергии во внешнее пространство будет очень незначительным. Его величина прямую зависимость от амплитуды тока в месте разрыва, которая, в свою очередь, зависит от местоположения и размеров зазора. Для большей наглядности размеры зазора и паза на рисунке непропорциональны. В действительности зазор обычно не превышает 0.1 мм, в то время как четверть длины волны составляет более 30 мм.

Из электродинамики известно, что входное сопротивление короткозамкнутой полуволновой линии равно нулю. Физически это означает, что зазор шириной  $d$  между стенкой камеры и дверцей практически не представляет никакого сопротивления для тока  $I$ , протекающего в указанном на рисунке направлении. Здравомыслящему, но непосвященному читателю такое утверждение может показаться абсурдом, поскольку непонятно, каким образом электроны, как носители тока, могут преодолеть подобную преграду. Сравнение с конденсатором в данном случае не годится, так как емкость зазора относительно невелика. Ответ легко найдется, если вспомнить принцип действия трансформатора, в котором электрически изолированные друг от друга обмотки обмениваются энергией с помощью магнитного поля. В нашем случае происходит нечто подобное. Ток, протекающий с одной стороны зазора, создает в нем магнитное поле, которое, в свою очередь, возбуждает ток на противоположной стороне. Разница лишь в том, что вместо магнитопровода и большого ко-

личества витков мы используем полуволновую линию. Таким образом, преобразовав щель в полуволновую линию, мы избавились от необходимости в хорошем электрическом контакте между дверцей и стенками камеры. Более того, непосредственный электрический контакт, из-за непредсказуемости его возникновения и влияния на параметры дросселя, в микроволновых печах искусственно устраняется. Для этого внутреннюю сторону дверцы, а иногда и камеры, покрывают эмалью. Такое покрытие, кроме всего прочего, устраниет возможное искрение между дверцей и стенками камеры.

Рассмотрим основные неисправности, связанные с работой дверцы.

В некоторых печах, особенно старых типов конструкции, наблюдается повышенное фоновое излучение. В большинстве случаев это вызвано увеличением зазора  $d$  между дверцей и лицевой плоскостью камеры. Нормальный зазор соизмерим с толщиной листа машинописной бумаги. Поэтому вышеупомянутый лист может служить своеобразным инструментом, с помощью которого мы достаточно легко можем определить, соответствует ли зазор требуемым параметрам. Если между дверцей и камерой лист проходит с усилием или не проходит вообще, значит, все в порядке, если же лист входит свободно, значит, необходимо уменьшить зазор. Измерение величины зазора необходимо проводить по всему периметру дверцы. Сразу оговоримся, что регулировку дверцы можно проводить только при наличии приборов, позволяющих измерить величину фонового излучения. Делать это вслепую не только бессмысленно, но и опасно. Если не для жизни, то для зрения.

Имеются лишь две точки, где есть возможность регулировки зазора. Во-первых, в месте крепления дверцы к камере. Если повышенный фон наблюдается со стороны крепления, нужно ослабить винты, крепящие дверцу, придинуть ее к камере, чтобы устранить зазор, и зажать винты. Все операции лучше производить при закрытой дверце, иначе можно переусердствовать и, устранив большой зазор с одной стороны, получить еще больший с противоположной. Со стороны блока управления регулировку зазора можно осуществить смещением механизма защелки вглубь корпуса. Для этого нужно ослабить винты, крепящие указанный механизм, сместить его в нужную сторону и вновь зажать винты. В принципе, защелка не имеет каких-либо пазов, позволяющих двигать ее в произвольном направлении, но, поскольку величина требуемого смещения не превышает нескольких десятых миллиметра, существующий люфт между винтами и отверстиями под них позволяет это сделать. Здесь также важно не перестараться и следить за тем, чтобы после всех манипуляций дверца хорошо закрывалась и оба запора включали блокировочные микропереключатели.

В некоторых печах российского производства увеличение зазора бывает связано с перекосом дверцы. При этом бывает, что в одном или двух углах зазор выше допустимого, а в остальных нормальный. Любая регулировка дверцы приводит только к тому, что ситуация зеркально меняется. Такой перекос иногда удается устраниить. Для этого нужно отжать винты, крепящие перфорированное металлическое окно, слегка выгнуть дверцу в противоположном перекосу направлении и, не отпуская дверцы, зажать винты.

Наибольшая часть неисправностей дверцы связана с работой запоров, механизма фиксации и механизма открывания дверцы. Как правило, это чисто механические поломки и ремонт сводится к изготовлению и замене сломанной детали.

Иногда между дверцей и стенками камеры возникает искрение. Причина этого кроется в повреждении эмали на внутренней поверхности дверцы. Устраниить это довольно просто, необходимо лишь закрасить поврежденный участок тонким слоем лака или эмали.

## 2.2. Магнетрон

Внешний вид магнетрона представлен на рис. 2.13. Излучение микроволновой энергии осуществляется от антенны 1, представляющей собой штенгель, на который плотно посажен металлический колпачок (штенгель — заваренная трубка, через которую в процессе производства магнетрона откачивался воздух). Антenna изолирована от корпуса 6, по переменному току, керамическим цилиндром 2. Внешний кожух магнетрона 3 совместно с фланцем 4 составляют магнитопровод, формирующий необходимое распределение магнитного поля, источником которого служат кольцевые магниты 5. Фланец используется также для крепления магнетрона к микроволновой печи. Радиатор 7 служит для более интенсивного охлаждения магнетрона во время работы. Коробка фильтра 8 содержит внутри себя индуктивные выводы, которые совместно с проходными конденсаторами 9 образуют высокочастотный фильтр, снижающий проникновение СВЧ-излучения по выводам питания 10.

Надежность контакта между магнетроном и корпусом микроволновой печи обеспечивается кольцом из металлической сетки.

В таблице 2.1 представлены параметры некоторых типичных магнетронов для микроволновых печей.

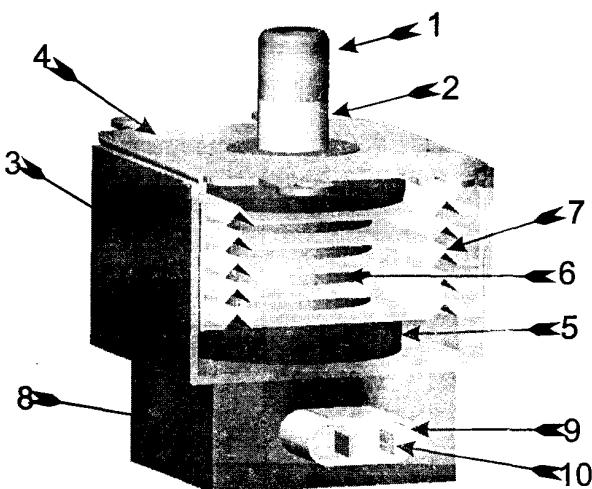


Рис. 2.13. Магнетрон

Скорость приготовления пищи в микроволновой печи напрямую зависит от мощности, которую способен генерировать магнетрон. В настоящее время большинство печей имеют магнетроны с номинальной мощностью 700 — 850 Вт, что позволяет, например, довести двухсотграммовый стакан воды до кипения в течение 2 — 3 минут. Таким образом, можно простыми средствами оценить мощность микроволновой печи. Для более точных измерений можно воспользоваться формулой:

$$P = \frac{C_p \cdot m \cdot \Delta T}{t}$$

где  $C_p$  — удельная теплоемкость нагреваемого продукта (для воды  $C_p=4180$  джоуль/градус),  $m$  — масса продукта (кг),  $\Delta T$  — разность температур,  $t$  — время нагрева (с).

При стандартных измерениях объем воды должен составлять  $1000 \pm 5$  мл, время нагрева  $60 \pm 1$  с, а начальная температура не должна превышать  $20^{\circ}\text{C}$ . В этом случае исходная формула принимает более простой вид:

$$P = 70 \cdot \Delta T$$

Воду желательно налить в тонкостенный сосуд из боросиликатного стекла. Перед измерением температуры воды после нагрева воду в сосуде необходимо тщательно перемешать.

Рассмотрим пример: предположим, мы поместили литровую банку воды, с начальной температурой  $10^{\circ}\text{C}$ , в микроволновую печь и включили нагрев на одну минуту. После отключения печи температура воды оказалась  $22^{\circ}\text{C}$ . Отсюда мощность, поглощенная нагрузкой, составит:

$$P=70 \cdot (22-10)=840 \text{ Вт.}$$

Неисправности магнетронов условно можно разбить на две группы: подлежащие восстановлению и прочие. Вначале кратко остановимся на безнадежных случаях. К ним можно отнести: обрыв или перегорание накала, нарушение вакуума, полное отсутствие генерации при наличии необходимых напряжений и исправном накале, короткое замыкание между анодом и катодом.

Теперь более подробно остановимся на случаях, когда положение можно спасти. Наиболее часто встречающаяся ситуация из этого перечня — это пробой проходных конденсаторов. Наличие такого пробоя легко обнаружить тестером, проверив сопротивление между выводами магнетрона и корпусом, при отключенном внешней цепи. Если оно отлично от бесконечности, нужно снять крышку с коробки фильтра и откусить провода, соединяющие конденсаторы с катушками фильтра. После этого повторить измерения. Если после этой операции показания прибора не изменятся, значит, конденсатор пробит. В этом случае вам повезло и вы отделаетесь малой кровью. Если же

Таблица 2.1

N п/п	Наименование	Рабочее напряжение анода, кВ	Напряжение накала, В	Выходная мощность, Вт
Магнетроны зарубежных фирм				
1	2M11J	3.8	3.15	500 — 600
2	2M209	3.8	3.15	500 — 600
3	2M213	3.8	3.15	500 — 600
4	2M216	3.8	3.15	500 — 600
5	2M218	3.8	3.15	500 — 600
6	2M231	3.8	3.15	500 — 600
7	QBP65BH(FN)	3.8	3.15	500 — 600
8	WB27X274	3.8	3.15	650
9	2M104A	4,0	3.15	750
10	2M107	4,0	3.15	750
11	2M108	4,0	3.15	750
12	2M128	4,0	3.15	750
13	2M157	4.0	3.15 — 3.3	700 — 850
14	2M167	4.0	3.15 — 3.3	700 — 850
15	2M172	4.0	3.15 — 3.3	700 — 850
16	2M204	4.0	3.15 — 3.3	700 — 850
17	2M214	4.0	3.15 — 3.3	700 — 800
18	2M224	4.0	3.15 — 3.3	700 — 850
19	2M226	4.0	3.15 — 3.3	700 — 850
20	2M240E	4.0	3.15 — 3.3	700 — 850
21	OM75	4.0	3.15 — 3.3	700 — 850
22	QBP75BH(FN)	4.0	3.15 — 3.3	700 — 850
23	WB27X51	4.0	3.15 — 3.3	700 — 850
Магнетроны российского производства				
24	Блесна-2	4.0	6.3	600 — 700
25	M105-1	4.0	3.15	600 — 700
26	M136	4.0	3.15	600 — 700
27	M151	4.0	6.3	600 — 700
28	M152	4.0	3.15	700 — 850
29	M153-4	4.0	3.15	700 — 850
30	M156	4.0	3.15	700 — 850

отключенные конденсаторы окажутся в порядке, то, прежде чем менять магнетрон, визуально убедитесь, что замыкание происходит внутри магнетрона, а не на его поверхности.

Излучение сквозь выводы питания для разных магнетронов, даже одного типа, разично. Если излучение невелико, допустимо включать магнетрон напрямую, без проходных конденсаторов. Однако с уверенностью сказать о возможности работы без проходных конденсаторов можно только при наличии приборов, измеряющих уровень СВЧ-излучения. Поэтому пробитые конденсаторы желательно заменить.

Причиной пробоев конденсатора служат кратковременные броски напряжения в моменты включения и выключения источника питания, которые могут превышать рабочее напряжение конденсатора. Несколько слов о происхождении таких выбросов: магнитное поле в сердечнике трансформатора, а соответственно и ток во вторичной обмотке определяются не величиной тока в первичной обмотке, а скоростью его изменения. При переменном токе эти понятия связаны, поскольку чем больше ток, тем с большей скоростью он меняется в течение периода. Однако постоянный ток, проходящий по первичной обмотке, какой бы большой он ни был, не вызовет никакой реакции во вторичной обмотке. И, наоборот, увеличение частоты входного напряжения, т.е. увеличение скорости изменения тока в первичной обмотке приводит к росту магнитного потока через вторичную обмотку, со всеми вытекающими последствиями. Этот факт используется в импульсных блоках питания, в которых увеличение частоты позволяет при той же выходной мощности значительно снизить размеры силового трансформатора. При включении и выключении трансформатора происходит резкое изменение тока через первичную обмотку и, следовательно, столь же резкое, кратковременное возрастание тока во вторичной обмотке. В соответствии с законом Ома:  $U=I \cdot R$ , напряжение на нагрузке также изменится скачком, пропорционально току и сопротивлению нагрузки. Если включение трансформатора происходит в отрицательный полупериод, когда диод заперт, а ток анода еще не появился, сопротивление нагрузки близко к бесконечности, поэтому скачок напряжения на выходе трансформатора может быть очень существенным.

Иногда, вследствие допгой работы или из-за включения магнетрона на пустую камеру, заметно снижается эмиссия катода. В результате мощность микроволновой печи уменьшается в два и более раз. Восстановить былою мощность можно, добавив напряжение на накал. Для этого обычно достаточно добавить полвитка на накаливальной обмотке трансформатора. К сожалению, не каждый трансформатор позволяет проделать такую манипуляцию.

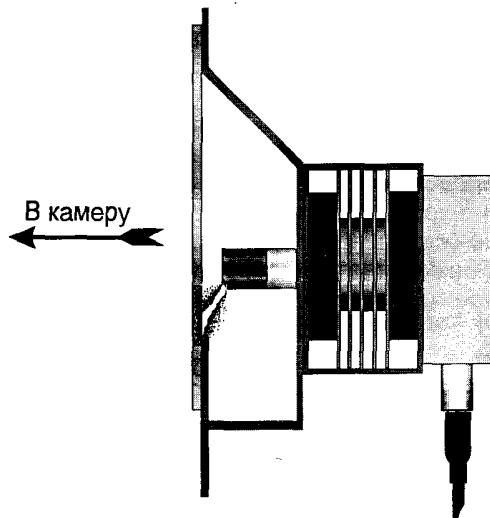


Рис. 2.14. Возникновение СВЧ-разряда между антенной магнетрона и стенками камеры

В некоторых марках микроволновых печей возможно возникновение СВЧ-разряда между антенной магнетрона и корпусом. Это происходит там, где практически отсутствует волновод между магнетроном и камерой и антenna расположена в непосредственной близости от диэлектрического окна. Разряд происходит после пробоя этого окна, как показано на рис. 2.14.

Если вовремя не заменить пробитое диэлектрическое окно, колпачок антенны может прогореть насеквь, и тогда разряд будет продолжаться автономно и не исчезнет, даже если вы устраниете первопричину. Исправить положение можно, заменив колпачок. Его можно изготовить на токарном станке или снять со сгоревшего магнетрона аналогичной конструкции. Размеры нового

колпачка должны строго соответствовать старым, а его посадка на магнетрон должна быть плотной.

### 2.3. Высоковольтный блок питания

Блок питания магнетрона должен обеспечивать подачу постоянного анодного напряжения на магнетрон  $U_a = 4.0$  кВ и переменное напряжение накала 3.15 В. При этом величина анодного тока составляет примерно 300 мА, а тока накала 10 А. Указанные величины могут незначительно изменяться в ту или иную сторону в зависимости от типа магнетрона и требуемой мощности. Конструктивно блок питания состоит из трансформатора, диода и конденсатора и собран по схеме удвоения напряжения (рис. 2.15).

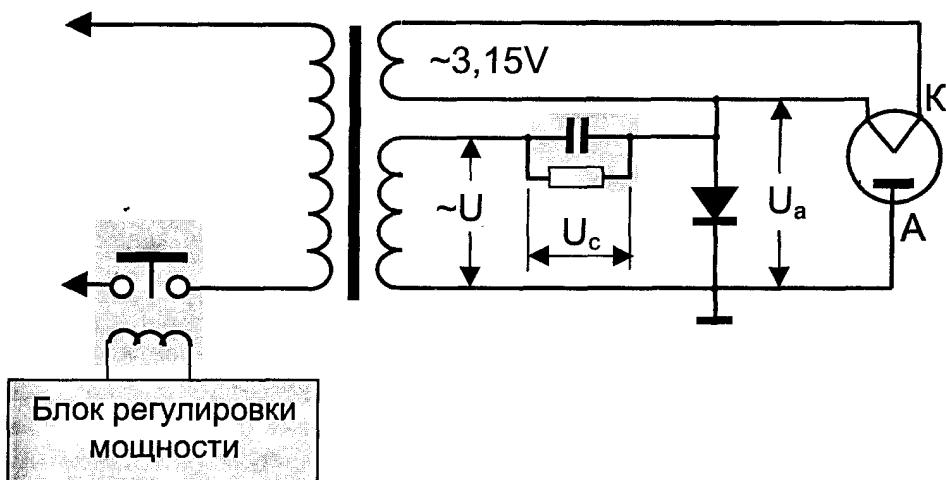


Рис. 2.15. Принципиальная электрическая схема высоковольтного блока питания

Рассмотрим работу схемы более подробно. Один из выводов высоковольтной обмотки трансформатора соединен с его корпусом, который обычно заземляется. Будем считать, что потенциал на этом выводе постоянен и равен нулю. Тогда на втором выводе напряжение в течение периода будет изменяться от  $+U$  до  $-U$ . В моменты времени, когда напряжение на выводе положительно, диод находится в открытом состоянии, напряжение на магнетроне равно нулю, а конденсатор будет заряжаться до амплитудного значения переменного напряжения. Когда напряжение поменяет свой знак, диод окажется в запертом состоянии, а на магнетрон попадет удвоенное напряжение, образованное суммой напряжений на трансформаторе и на зарядившемся конденсаторе. Поскольку в отрицательный полупериод напряжение на трансформаторе возрастает по синусоиде, от нуля до амплитудного значения, магнетрон начнет генерировать мощность не сразу, а спустя некоторое время, после того как суммарное напряжение конденсатора и трансформатора достигнет некоторого значения (примерно 3.6 кВ). В этот момент начнется генерация мощности, быстро нарастающей от нуля до максимума (при 4.0 кВ). Работа магнетрона будет сопровождаться постепенным разрядом конденсатора. В какой-то момент суммарное напряжение начнет снижаться, выходная мощность пойдет вниз, пока генерация полностью не прекратится. В следующий полупериод опять начнется зарядка конденсатора и т.д. Графически этот процесс изображен на рис. 2.16.

Как наглядно видно из рисунка, магнетрон в микроволновой печи работает только в отрицательный полупериод, отдыхая в положительный. Фактически он работает даже несколько меньше чем полпериода, поскольку он включается только при достижении напряжением определенной величины и выключается раньше, чем напряжение станет равным нулю. Основным достоинством схемы удвоения является то, что снижается высокое напряжение на выходе трансформатора. Соответственно, уменьшается количество витков во вторичной обмотке, что позволяет снизить его вес, габариты и стоимость.

Накальная обмотка одним из выводов соединена с высоким анодным напряжением, поэтому на выводы магнетрона одновременно подается переменное напряжение накала 3.15 В и постоянное анодное напряжение 4.0 кВ. Для магнетронов с катодом прямого накала не имеет значения, какой из накальных выводов соединен с анодным напряжением. При использовании магнетронов с косвенным накалом анодное напряжение необходимо подавать на вывод обозначаемый "FA". В

противном случае через накал будет протекать анодный ток, приводя к его дополнительному разогреву. Однако, к каким-либо катастрофическим последствиям это не приводит. Кроме того, использование в микроволновых печах магнетронов с косвенным накалом большая редкость. Поэтому без больших настежек выводы магнетрона можно считать равноценными. Необходимо оговориться, несмотря на то, что мы используем термин "анодное напряжение", в действительности анод соединен с корпусом магнетрона и его потенциал всегда равен нулю, а отрицательное рабочее напряжение подается на катод. Для нормальной работы магнетрона важно, чтобы анод имел положительный потенциал +4.0 кВ по отношению к катоду, а какой из электродов заземлен, значения не имеет. Поскольку корпус магнетрона непосредственно соединен с анодом, то вполне естественно, что именно он имеет нулевой потенциал.

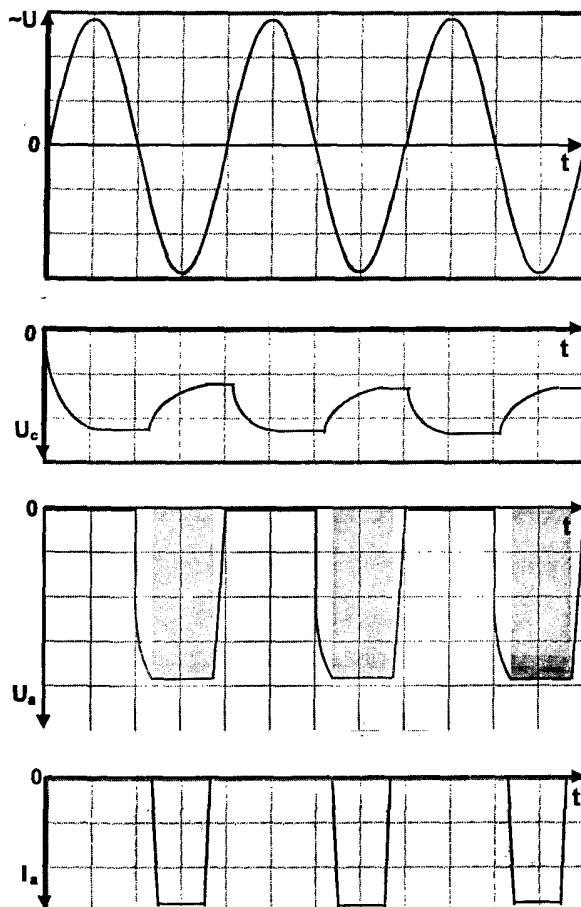


Рис. 2.16. Форма токов и напряжений на основных элементах блока питания

В микроволновых печах управление мощностью осуществляется ступенчато, периодическим отключением блока питания, т.е. регулируется средняя мощность за определенный цикл. (Подробнее об этом в разделе "Блок управления".)

Рассмотренная схема наиболее часто используется в микроволновых печах, несмотря на присущие ей некоторые недостатки. Главный из них состоит в том, что анодное напряжение подается на магнетрон одновременно с накалом. При работе на средних и малых уровнях мощности, когда магнетрон периодически выключается, нить накала подвергается многократному нагреву и охлаждению, что снижает ее срок службы. Кроме того, в момент включения анодное напряжение подается на холодный катод, поскольку он не успевает разогреться, что также негативно влияет на магнетрон. Рассмотрим вкратце несколько схем, которые позволяют обойти указанные недостатки. Самое простое решение — это установить независимый накальный трансформатор (рис. 2.17).

Накальный трансформатор включается за несколько секунд до включения анодного напряжения и постоянно работает в течение всего времени, устанавливаемого таймером, независимо от выбранного уровня мощности. В некоторых моделях печей (например, "Электроника СП23 ЗИЛ") накальный трансформатор включается и выключается одновременно с самой печью. Основной недостаток таких конструкций — это увеличение размеров, веса и стоимости микроволновой печи.

От этого избавлена схема на рис. 2.18.

Анодное напряжение от блока питания подается на магнетрон через специальный высоковольтный переключатель. В этом случае при регулировке мощности отключается не весь блок питания, а только анодная цепь, что позволяет при одном трансформаторе получить тот же результат, что и в предыдущем случае.

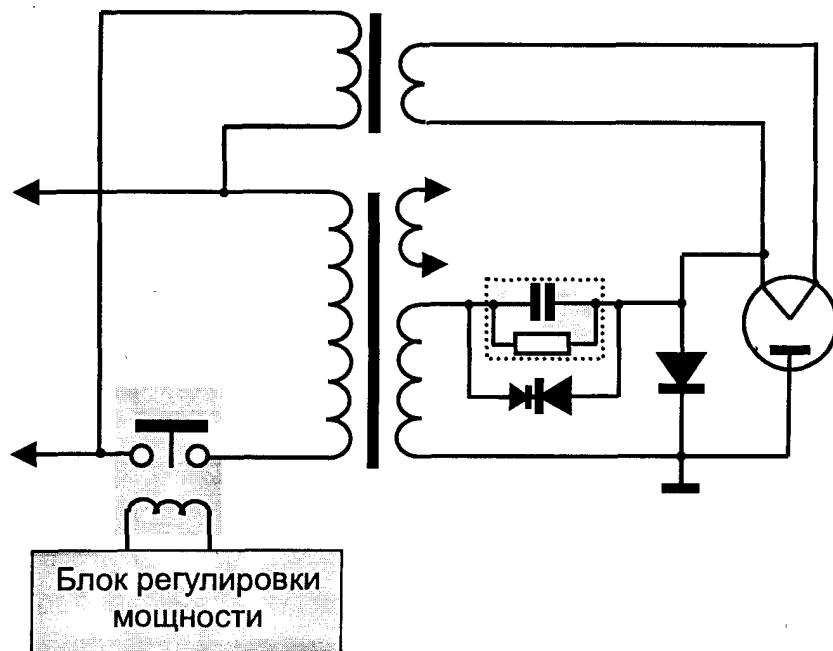


Рис. 2.17. Принципиальная схема высоковольтного блока питания с независимым накальным трансформатором

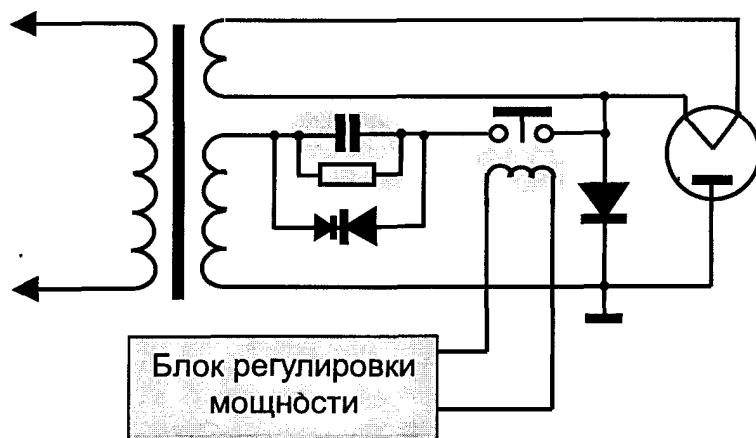


Рис. 2.18. Принципиальная схема блока питания с использованием высоковольтного реле в анодной цепи

Как было показано в предыдущей главе, изменение анодного напряжения даже в небольших пределах может существенно повлиять на работу магнетрона. Диапазон изменения анодного напряжения, при котором мощность магнетрона изменяется от нуля до оптимального значения, составляет около 500 В. Поэтому магнетрон с номинальным рабочим напряжением 4.0 кВ при реальном напряжении 3.5 кВ работать не будет. Фактически это означает, что, если не принять каких-либо специальных мер, снижение сетевого напряжения на 10% приведет к полной потере мощности микроволновой печи, а увеличение напряжения на те же 10% заставит ее работать в непосильном режиме, и тогда от безвременной кончины магнетрон может спасти только вовремя сгоревший предохранитель. Положение усугубляется тем, что магнетроны, даже одного типа, обладают некоторым разбросом параметров. Рабочее напряжение магнетрона определяется напря-

женностью магнитного поля, создаваемого постоянными магнитами. Технологически при массовом производстве довольно сложно изготовить магниты с одинаковой индукцией. Поэтому фактическое рабочее напряжение магнетрона может на несколько процентов отличаться от номинального. На заре телевизионной техники, когда с телевизорами возникали похожие проблемы, подключение к сети велось через специальные ферромагнитные стабилизаторы. В микроволновой печи ситуация проще и роль такого стабилизатора при определенных условиях может выполнить имеющийся трансформатор.

Рассмотрим вкратце принцип действия ферромагнитного стабилизатора. Магнитопровод трансформатора обладает свойством магнитного насыщения. Магнитное насыщение — явление, при котором в ферромагнитных материалах, при увеличении напряженности намагничивающего поля  $H$ , начиная с некоторого его значения  $H_m$ , наблюдается резкое снижение роста магнитной индукции (рис. 2.19).

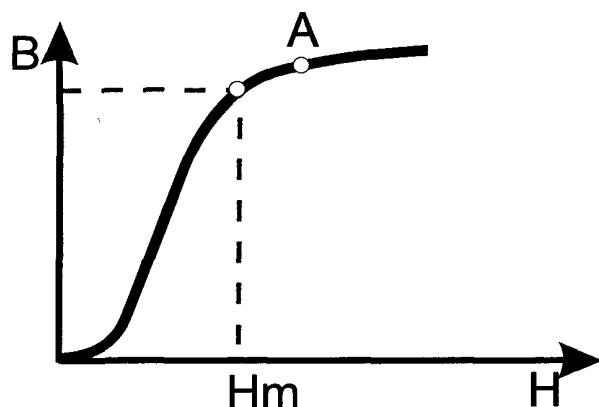


Рис. 2.19. Зависимость величины магнитной индукции  $B$  от напряженности намагничивающего поля  $H$  в трансформаторе микроволновой печи

Если подобрать железо трансформатора таким образом, чтобы работать в зоне насыщения, изменение напряжения на первичной обмотке практически не будет влиять на величину тока в нагрузке. Нет смысла выбирать рабочую точку слишком далеко от точки насыщения, поскольку в этом случае снизится к.п.д. трансформатора. Подчеркнем, что рассматриваемый стабилизатор является стабилизатором тока. Напряжение на разных магнетронах может быть разным, но всегда таким, какое требуется для получения заданной мощности. Если же магнетрон отключен, то напряжение холостого хода может заметно превышать 4 кВ. Понимание физических процессов, происходящих в трансформаторе Микроволновой печи, позволяет установить ограничения при его замене. Главное — это равенство анодного тока до и после замены. Эти замечания следует учитывать также и при замене магнетрона.

Если в результате замены **магнетрон и трансформатор перестанут составлять гармоничную пару**, то возможны два случая:

1. Магнетрон рассчитан на большую мощность, чем позволяет обеспечить трансформатор. В результате последний будет работать в режиме сильного насыщения. Как следствие магнетрон не будет выдавать номинальной мощности, усилится гул трансформатора и снизится его к.п.д.
2. Магнетрон рассчитан на меньшую мощность, чем трансформатор. Из-за возрастания анодного тока, мощность печи увеличится, однако магнетрон будет сильно перегреваться, что приведет к снижению его долговечности. При включении печи на длительное время (более 5 минут) возможно, также, отключение термореле.

На блок питания приходится примерно третья часть поломок в микроволновой печи. Это объясняется тем, что все элементы, составляющие блок питания, работают на предельных режимах и, как правило, не имеют достаточного запаса прочности. Обычно в руководствах по эксплуатации микроволновых печей указывается, что на максимальную мощность печь можно включать не более чем на 20 — 30 минут, после чего ей необходимо дать отдохнуть такое же время. Конечно, технически не представляет труда сделать печь более надежной, однако это неизбежно приведет к росту ее габаритов, веса и стоимости. Поэтому производители микроволновых печей выбирают компромиссный вариант, при котором печь при правильной эксплуатации работает относительно надежно, но может быстро выйти из строя при нарушении этих правил.

Имеется четыре основные причины, приводящие к поломке блока питания микроволновой печи:

1. Длительная работа печи на максимальной мощности.
2. Включение микроволновой печи при отсутствии продукта в камере либо длительная работа при загрузке меньше чем минимально допустимая. (Стандартная минимальная загрузка равна 200 мл воды.)
3. Работа при повышенном напряжении электрической сети. В условиях России, особенно в сельской местности, такое, к сожалению, скорее норма, чем исключение. Люди, берущие микроволновую печь на дачу, чтобы облегчить себе жизнь, очень часто ее усложняют.
4. Детали имеют заводской брак или механические повреждения.

Установив причины, попробуем разобраться со следствиями. Наиболее неприятная вещь — это выход из строя трансформатора. Обычно сгорает вторичная обмотка в результате межвиткового замыкания. При изготовлении высоковольтных обмоток считается хорошим тоном прокладывать изоляционную бумагу между слоями витков. В этом случае витки на различных слоях не соприкасаются и вероятность межвиткового пробоя значительно снижается. Однако тщательное и скрупулезное соблюдение инструкций — в некоторых случаях прямой путь в тупик. В трансформаторах для микроволновых печей этого, как правило, не делается, поскольку производители печей считают, что лучше потратиться на дополнительное сервисное обслуживание, чем выпускать на рынок монстра, которого без автопогрузчика не сдвинуть с места. Поэтому упор делается на качество лаковой изоляции провода и на ровную укладку слоев. В этом случае напряжение между соседними слоями не превышает нескольких десятков вольт. При неправильной укладке провод может проваливаться через несколько слоев, и тогда напряжение между ним и слоем, до которого он добрался, может достигать сотен вольт, что значительно повышает вероятность пробоя. В результате пробоя образуется несколько короткозамкнутых витков, через которые протекает большой ток. Если количество короткозамкнутых витков невелико, трансформатор некоторое время может работать, как исправный, но инфекция уже занесена и от нее, как от СПИДа, лекарства не существует. Процесс будет лавинообразно развиваться дальше. Короткозамкнутые витки будут перегреваться, разрушать изоляцию соседних витков и т.д. Помимо плохой укладки провода возникновению пробоя может способствовать высокая температура. В этом случае в лаковой изоляции могут появиться микротрешины, замыкание и "далее со всеми остановками".

Сгоревший трансформатор можно заменить. Новый трансформатор должен быть на ту же мощность, что и прежний. Естественно, это должен быть трансформатор от микроволновой печи, а не от сварочного аппарата или чего-нибудь еще.

"При отсутствии наличия" трансформатор можно отремонтировать. Относительно легко это сделать в микроволновых печах российского производства. Во-первых, потому, что катушка вторичной обмотки в них размещена на каркасе, а во-вторых, потому, что железо трансформатора не заварено, как это делается в импортных печах. Тем не менее и в этом случае все может оказаться сложней, чем кажется на первый взгляд. Первая проблема возникает при попытке извлечь из трансформатора катушку. Обычно для уменьшения гула детали магнитопровода склеиваются и после сборки заливаются лаком. Поэтому, сняв металлическую стяжку, не стоит рассчитывать, что остальные детали развалятся, как карточный домик. Без мощных тисков и хорошего молотка вам не обойтись. Рекомендуется перед разборкой пометить детали магнитопровода, с тем чтобы при сборке установить их в том же порядке. Но предположим, что с этим вы справились. Теперь необходимо размотать катушку, попутно сосчитав количество витков. Как правило, вторичная обмотка содержит около 2300 витков медного провода с двойной лаковой изоляцией диаметром 0.41 — 0.45 мм. Так как трансформатор работает в режиме стабилизации тока, небольшие ошибки при определении количества витков слабо влияют на его работу, поэтому будет достаточно, если вы точно установите количество слоев и количество витков в слое.

При намотке катушки необходимо периодически с помощью кисточки покрывать ее лаком, с тем чтобы все витки после высыхания лака были жестко зафиксированы. Без этого вы сами себе подложите мину, которая взорвется в последний момент, а именно во время пробного включения. Печь будет работать, но звук будет такой, как будто на вашей кухне взлетает бомбардировщик с полной загрузкой. Борьба с гулом — это одно из наиболее сложных дел при ремонте мощных трансформаторов. Гул трансформатора возможен и в том случае, когда обмотка неплотно посажена на сердечник магнитопровода. При сборке трансформатора после ремонта имеет смысл вбить клиньшек между катушкой и сердечником.

В импортных трансформаторах, для снижения гула, детали магнитопровода сварены между собой. Сварка осуществляется мягким сплавом по внешней стороне, поэтому разобрать трансфор-

матор не сложно. Для этого необходимо в месте соединения деталей сделать ножковкой два пропила глубиной 1 — 2 мм, а затем, используя тиски и молоток, разъединить детали магнитопровода. При сварке трансформатора после замены обмотки его также необходимо зажать тисках, чтобы не было зазора между соединяемыми частями. Изготовление обмотки для импортного трансформатора — работа очень непростая, но не безнадежная. Конечно, при наличии намоточного станка. Предварительно необходимо изготовить разборный каркас по размеру катушки, проложить внутрь слой бумаги или скотч-ленту и плотно намотать катушку, периодически покрывая ее лаком. После высыхания лака каркас разбирается, и катушка надевается на сердечник магнитопровода. Как известно, опыт растет прямо пропорционально выведененному из строя оборудованию. Поэтому, убедившись, что катушка не входит в сердечник, вносите необходимые корректизы и начинаете все заново. Если у вас получится с первой попытки, значит, вы родились в рубашке и вам нужно не печи ремонтировать, а в рулетку играть.

Чтобы уменьшить число итераций, лучше изначально снизить количество витков на 1 — 2 слоя. По причинам, указанным выше, это допустимо, хотя и нежелательно. Если после долгих мучений собранная печь не будет давать необходимой мощности, исправить положение можно, добавив полвитка на накальной обмотке. В этом случае небольшой дефицит анодного напряжения, образованный уменьшением количества витков, мы компенсируем дополнительной эмиссией катода. В результате анодный ток, а соответственно и полезная мощность возрастут до приемлемого значения. Данная мера может помочь, когда число витков снижено на 5 — 10%, однако нужно помнить, что при этом сокращается срок службы магнетрона. Конечно, если есть возможность не пользоваться приведенными рекомендациями, лучше так и сделать. Гораздо правильней поставить новый трансформатор, а не возиться с "трупом" старого. Но иногда вопрос стоит ребром: либо выбросить печь, либо попытаться починить. Для тех, кто выбрал второй вариант, автор попытался показать, как это можно сделать и к чему это может привести.

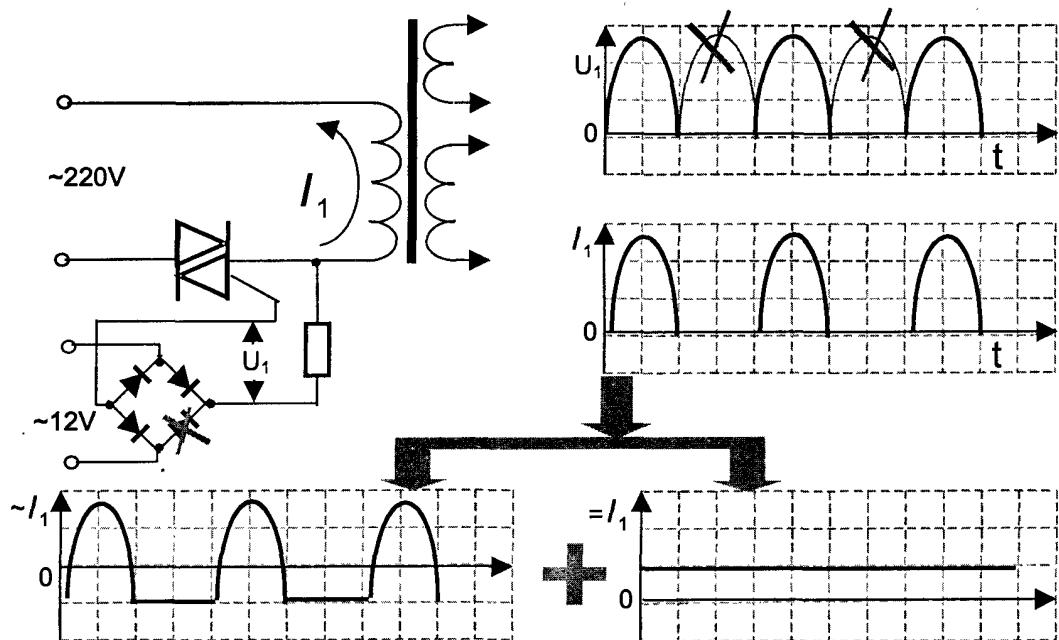


Рис. 2.20. Случай, приводящий к перегреву первичной обмотки трансформатора

Помимо выхода из строя вторичной обмотки в трансформаторе могут быть и некоторые другие неисправности. Иногда начинает перегреваться и дымить первичная обмотка. Обычно в этом случае причина кроется не в трансформаторе, а в устройстве, управляющем подачей напряжения на первичную обмотку. Трансформатор в этом случае выступает в роли козла отпущения, отдуваясь за неправильную работу управляющих структур. На рис. 2.20 изображена упрощенная схема, показывающая, каким образом это может происходить. Включение трансформатора осуществляется с помощью симистора, на который от независимого источника питания подается управляющее напряжение.

Если одно из плеч диодного моста не работает, то симистор отпирается только в момент прохождения либо четных, либо нечетных полуволн. В результате через трансформатор, наряду с переменным, начинает протекать постоянный ток. Поскольку сопротивление трансформатора по

постоянному току близко к нулю, то величина этого тока практически ничем не ограничена. Поэтому в рассматриваемом варианте первым делом перегорят сетевые предохранители. Но возможен вариант, когда работают оба плача диодного моста, но не симметрично. Более подробно это рассматривается в разделе о симисторах. В этом случае через первичную обмотку будет протекать два тока: переменный, совершающий полезную работу, и постоянный, мешающий этой работе и расходующий свою энергию исключительно на нагрев первичной обмотки.

При работе микроволновой печи большое значение имеет качество контактов. Особенно большое значение имеют контакты в накальной цепи. Попробуем разобраться, к чему может привести даже небольшое ухудшение контакта между накальной обмоткой трансформатора и выводами магнетрона. Ток накала магнетрона составляет величину около 10 А. Его уменьшение примерно на 20% может привести к значительной потере эмиссии. В то же время сопротивление нити накала равно примерно 0.3 Ом. Таким образом, увеличение сопротивления на 20%, или на 0.06 Ом, приводит к уменьшению тока на те же 20% и, как следствие, к потере эмиссии. Сопротивление в 0.06 Ом — очень маленькая величина, которую не измерить обычным тестером, поэтому, если контакт внешне выглядит нормальным и при измерении тестером не показывает никакого сопротивления, это еще не говорит о его надежности. Обычно проводники, соединяющие детали в микроволновых печах, не паяются, а снабжаются специальными разъемами. Типичная неисправность в микроволновых печах — ухудшение контактов в разъемах. Лучший способ убедиться в надежности разъема — попробовать его разъединить. Если это сделать трудно, значит, разъем в порядке, если легко, то его можно немного обжать пассатижами.

Кроме цепи накала, большое значение имеет и качество контактов на первичной обмотке силового трансформатора. Можно сказать, что важность того или иного контакта в любом электрическом приборе прямо пропорциональна величине тока, протекающего через него. Ток в первичной обмотке равен примерно 6 А, этого достаточно, чтобы к соответствующим контактам относиться уважительно.

Еще одной неисправностью, связанной с трансформатором, является пробой накальной обмотки. Дело в том, что, хотя напряжение на ее выводах всего чуть более 3 В, сама она находится под потенциалом — 4 кВ по отношению к корпусу. А напряжение между вторичной обмоткой и накальной, в зависимости от фазы сетевого напряжения, колеблется от 2 кВ до 6 кВ. При нарушении изоляции обмотки возможен пробой как на корпус, так и на вторичную обмотку. Способствовать этому может наличие влаги и грязи в месте вероятного пробоя.

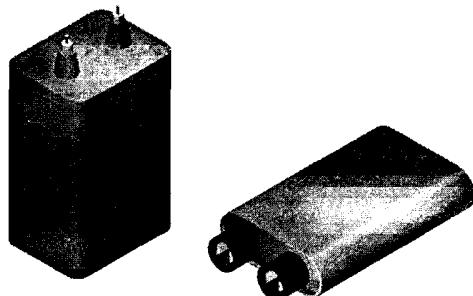


Рис. 2.21. Высоковольтные конденсаторы

Иногда в случае пробоя на корпус можно произвести ремонт, не прибегая к разборке трансформатора. Это возможно в двух случаях: во-первых, когда последствия пробоя не велики и есть возможность изолировать место пробоя; во-вторых, когда имеется возможность заменить накальную обмотку, не разбирая трансформатор. Относительно легко это делается, если она намотана поверх вторичной или первичной обмоток. Если вам повезло и поврежденная обмотка снята, то, устанавливая новую, необходимо помнить о том, что толщина устанавливаемого провода должна быть примерно равна толщине снятого. Если это не удается сделать и провод требуемой толщины не входит в зазор между корпусом и катушкой, можно попробовать взять провод немногого потоньше, но при этом, скорее всего, придется добавить количество витков. Критерий правильного выбора между толщиной провода и количеством витков — наличие напряжения 3.15 В на выводах при подключенном магнетроне. Подчеркнем, что без нагрузки величина напряжения на накальной обмотке значения не имеет. Анодное напряжение во время измерений можно и даже нужно отключить; это можно сделать, отсоединив разъем от выхода вторичной обмотки.

Внешний вид высоковольтных конденсаторов для микроволновых печей показан на рис. 2.21, а их параметры приведены в таблице 2.2.

В микроволновых печах российского производства, как правило, используются конденсаторы ёмкостью 1 мкФ и с максимальным напряжением 5000 В. Реально, напряжение на конденсаторе в российских микроволновых печах не превышает 2.1 кВ, поэтому при необходимости он может быть заменен на соответствующий импортный.

Таблица 2.2

№ п/п	Наименование	Электрическая ёмкость	Максимальное рабочее напряжение
1	MWC2180	0.8 мкФ	2100 В
2	MWC2185	0.85 мкФ	2100 В
3	MWC2187	0.87 мкФ	2100 В
4	MWC2191	0.91 мкФ	2100 В
5	MWC21100	1.0 мкФ	2100 В
6	MWC21110	1.1 мкФ	2100 В
7	MWC21120	1.2 мкФ	2100 В
8	MWC25080	0.8 мкФ	2500 В
9	MVC25085	0.85 мкФ	2500 В
10	MWC25110	1.1 мкФ	2500 В

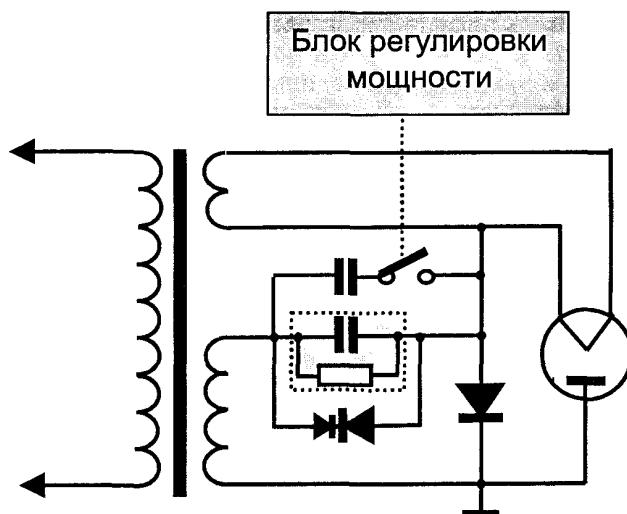


Рис. 2.22. Принципиальная схема высоковольтного блока питания с управлением выходной мощностью за счет изменения емкости конденсаторов

Номинал электрической ёмкости влияет на величину мощности, вырабатываемой магнетроном. При замене желательно использовать конденсатор той же ёмкости, хотя большого криминала не будет, если ёмкость будет немного отличаться.

Иногда изменение ёмкости конденсатора используется для регулировки выходной мощности (рис. 2.22).

Приведенная схема содержит два параллельно включенных конденсатора, один из которых может отключаться дополнительным переключателем. Обычно такой способ, применяемый в моделях с ограниченной мощностью, предусматривает только два режима выходной мощности: "высокая" и "низкая". Эта система не требует какой-либо дополнительной схемы управления, необходим только механический переключатель.

В цепях безопасности для быстрого разряда конденсатора между его выводами подключается высокоомное сопротивление (1 — 10 МОм). В импортном варианте это сопротивление подключается в процессе изготовления конденсатора и расположено внутри его корпуса. Для полного разряда требуется приблизительно 30 секунд. Бывают случаи, когда это сопротивление перегорает. Тогда на конденсаторе длительное время может сохраняться большой электрический заряд. Поэтому рекомендуется, приступая к ремонту, даже если печь давно выключена из сети, разрядить конденсатор. Для этого достаточно замкнуть выводы магнетрона на корпус с помощью отрезка хорошо изолированного провода. В противном случае вы рискуете из-за ничтожной оплошности угодить на "электрический стул".

Неисправности высоковольтного конденсатора связаны с пробоем между его обкладками и гораздо реже с пробоем на корпус. Для проверки его работоспособности достаточно "прозвонить" конденсатор тестером. Сопротивление между выводами должно быть равно примерно 1 — 10 МОм, а между корпусом и любым из выводов отсутствовать. При измерении сопротивления выводы конденсатора должны быть отключены от внешней электрической цепи. Теоретически возможна неисправность, вызванная внутренним обрывом одного из выводов. Обнаружить ее можно при наличии прибора, измеряющего электрическую емкость. При его отсутствии можно попробовать зарядить конденсатор с помощью низковольтного источника напряжения и после его отключения проследить за процессом разряда. У целого конденсатора напряжение будет плавно спадать, у неисправного оно будет отсутствовать.

Для предотвращения пробоев конденсатора между его выводами иногда включают фьюз-диод, который принимает удар на себя. Фьюз-диод, или, говоря по-русски, предохранительный диод, внешне напоминает обычный высоковольтный диод. Внутри он состоит из двух встречно включенных диодов с различными номиналами. Их параметры подобраны таким образом, чтобы при нормальной работе печи не оказывать на нее никакого влияния. В то же время при закорачивании магнетрона или чрезмерном повышении напряжения на конденсаторе фьюз-диод пробивается, вызывая короткое замыкание вторичной обмотки и, как следствие, перегорание сетевого предохранителя. В первом случае это предохраняет трансформатор от перегрева, а во втором спасает конденсатор от пробоя. Но в наших условиях выигрыш от этого сомнительный. При коротком замыкании в магнетроне предохранитель обычно перегорает и без посторонней помощи, а что касается конденсатора, то, хотя стоимость фьюз-диода заметно меньше стоимости последнего, вероятность его выхода из строя выше, примерно в той же пропорции. В условиях отложенного сервиса это может быть оправдано, тем не менее в некоторых современных микроволновых печах указанные приборы отсутствуют. С учетом того, что в России найти такие диоды крайне сложно, решение напрашивается само собой. Ремонт в таком варианте напоминает операцию при аппендиците: удаляем лишнее, и больной опять здоров.

И, наконец, последний элемент, составляющий блок питания, — высоковольтный диод (рис. 2.23).

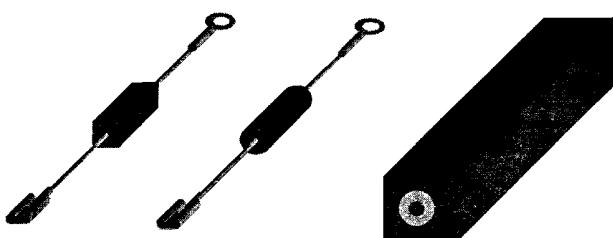


Рис. 2.23. Высоковольтные диоды применяемые в микроволновых печах

В таблице 2.3 представлены основные типы диодов, которые используются в микроволновых печах.

Высоковольтный диод представляет собой большое количество последовательно соединенных обычных выпрямительных диодов, выполненных по единой технологии в одном корпусе. Такая его конструкция вносит свою специфику при проверке диода на целостность. В отличие от обычного, высоковольтный диод при проверке тестером не показывает сопротивления ни в прямом, ни в обратном направлении. Объясняется это тем, что диод имеет нелинейную вольт-амперную характеристику и его сопротивление зависит от приложенного напряжения (рис. 2.24).

При измерении тестером мы прикладываем к электродам диода напряжение от гальванической батарейки, которое обычно не превышает 4.5 В. Для обычного диода этого вполне достаточно,

чтобы ощутить разницу между прямой и обратной ветвями характеристики. В высоковольтном диоде прикладываемое напряжение делится поровну между всеми составляющими его элементарными диодами. В итоге каждый из них оказывается под напряжением, в соответствующее число раз меньшим. При напряжении менее чем 0.5 В сопротивление в прямом направлении оказывается достаточно велико даже у одного диода, а при последовательном соединении всех элементарных диодов общее сопротивление возрастает пропорционально их количеству. Поэтому исправный высоковольтный диод может казаться неисправным, показывая бесконечное сопротивление в обоих направлениях, и наоборот — неисправный диод, показывающий небольшое сопротивление в прямом направлении и бесконечное в обратном, внешне можно принять за исправный.

Таблица 2.3

Нп/п	Тип прибора	Максимальное обратное напряжение	Максимальный прямой ток
1	HV 05-12	12000 В	550 мА
2	HV 07-15	15000 В	750 мА
3	КЦ201Е	15000 В	500 мА
4	КЦ202Е	15000 В	500 мА

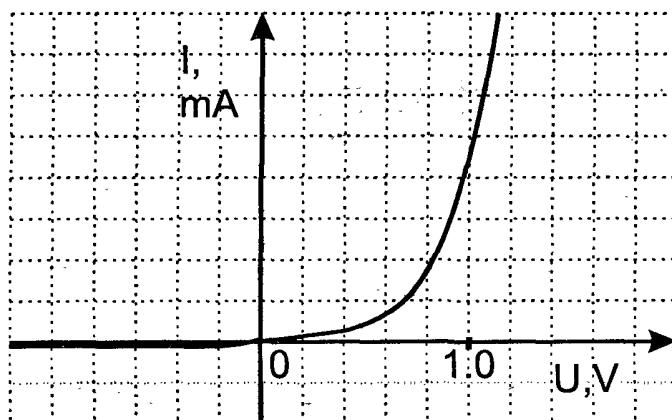


Рис. 2.24. Вольт-амперная характеристика полупроводникового диода

В некоторых печах российского производства высоковольтный трансформатор не имеет накальной обмотки пибр она не используется, а напряжение накала подается с отдельного накального трансформатора. Обычно независимый накал используется в микроволновых печах с электронным управлением, поскольку в них уже имеется дополнительный трансформатор для питания блока управления. Недостаток такой конструкции в том, что при подключении к трансформатору накальной обмотки его размеры возрастают в несколько раз. Кроме того, возникает опасность пробоя между высоким напряжением на накальной обмотке и низковольтными цепями блока управления, что может привести к непоправимым результатам.

## 2.4. Блок управления

Блоки управления для микроволновых печей встречаются двух типов: электромеханические и электронные. Имеется две основные функции, которые должен выполнять блок управления: поддержание заданной мощности и выключение печи по истечении установленного времени работы. Независимо от типа исполнения, все печи одинаково успешноправляются с этими задачами. Поскольку электронный блок управления содержит внутри себя микроЭВМ с богатыми потенциальными возможностями, у разработчиков микроволновых печей всегда есть подспудное желание каким-то образом использовать эти возможности. И здесь каждый изощряется, как может. Начиная от встроенных часов и заканчивая отрывками из музыкальных произведений, сигнализирующими об окончании работы. Все это можно рассматривать как некоторые излишества, не влияющие на выполнение основных функций.

Величина подаваемого в рабочую камеру уровня микроволновой мощности регулируется временем срабатывания исполнительного устройства, в качестве которого может использоваться реле, микропереключатель или симистор. Исполнительное устройство периодически включает и выключает источник питания магнетрона в соответствии с выбранной мощностью. В качестве примера на рис. 2.25 показаны два цикла работы микроволновой печи "Плутон", для различных режимов мощности. Полный цикл составляет 22 секунды. В зависимости от выбранной мощности, магнетрон включается только на определенное время, в пределах одного цикла, а каждый последующий цикл периодически повторяет последовательность этих действий.

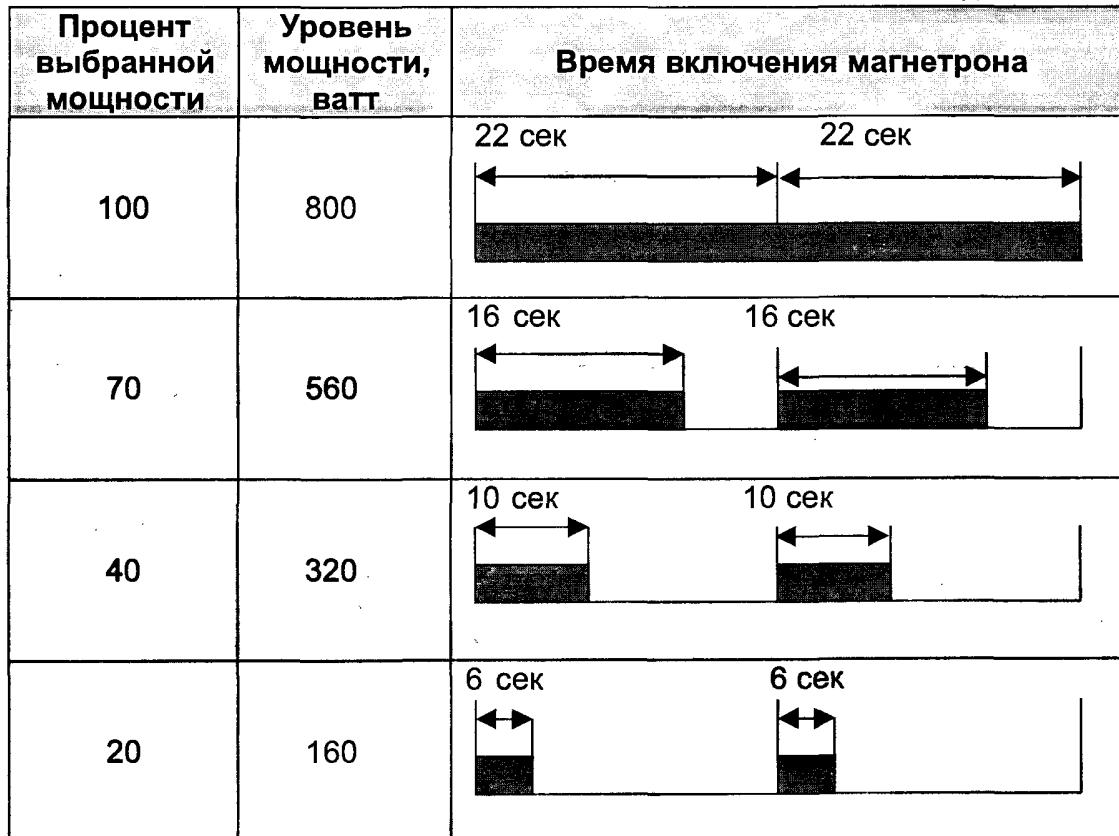


Рис. 2.25. Продолжительность включения магнетрона при различных уровнях задаваемой мощности

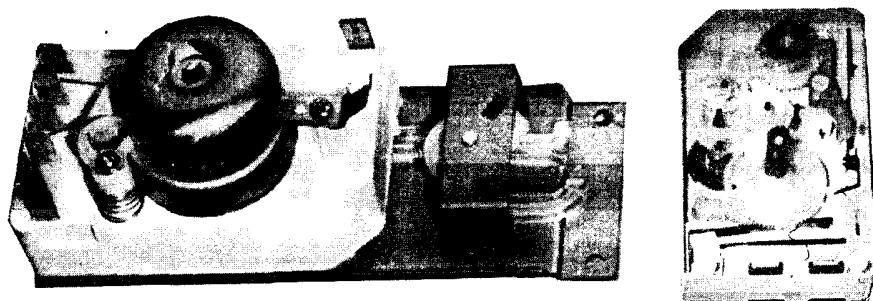


Рис. 2.26. Внешний вид и внутренняя начинка типичного электромеханического таймера микроволновой печи

Несмотря на то что многие микроволновые печи в качестве исполнительного устройства имеют симистор, позволяющий осуществлять плавную регулировку больших мощностей, питание на магнетрон всегда подается в виде импульсов. Их скважность меняется в зависимости от требуемой мощности. Очень редкие и не совсем удачные исключения лишь подчеркивают правило. Основная причина такого подхода к конструированию печей состоит в том, что он гораздо проще и надежнее. В то же время на процесс приготовления пищи способ регулировки мощности никак не влияет.

Электромеханический блок управления состоит из таймера и связанного с ним механизма ступенчатой регулировки мощности. Часто эти детали выполнены в едином корпусе. Обычно таймер включает в себя микродвигатель, редуктор, механический звонок и систему контактов и микропереключателей, обеспечивающих включение блока питания. Типичная конструкция таймера показана на рис. 2.26.

Поскольку таймер электромеханический, то его поломки могут быть связаны как с механическими, так и с электрическими узлами. В первом случае это, как правило, выход из строя редуктора. Типичная неисправность — поломка зубьев в пластмассовых шестернях. В этом случае двигатель таймера работает, но отсчет времени не производится, и поэтому автоматического отключения микроволновой печи по истечении заданного времени не происходит. В большинстве случаев такую неисправность можно устранить, воспользовавшись способом, показанным на рис. 2.10.

Поломки электрической части проявляются как отсутствие замыкания или размыкания внутренних контактов. Возможен также выход из строя микродвигателя, хотя на практике такое случается крайне редко. Обычно в таймере имеется две пары контактов. Первая, назовем ее условно основной, замыкает цепь, подающую питание на вентилятор магнетрона, на лампу для освещения камеры, а также на микродвигатели столика и таймера. В цепи питания магнетрона последовательно с основной парой контактов присутствует дополнительная, обеспечивающая периодическое включение и выключение блока питания магнетрона в соответствии с выбранным режимом мощности. Дополнительные контакты, как правило, представляют собой встроенный стандартный микропереключатель. Из-за большого тока, проходящего через обе пары контактов (около 6 А), они могут подгореть. Если процесс подгорания начался, то он будет нарастать лавинообразно, пока контакт окончательно не выйдет из строя. Чем сильнее подгорел контакт, тем больше его сопротивление и тем большая мощность, в виде тепла, будет на нем выделяться. Сломанный микропереключатель необходимо заменить, а неработающие основные контакты можно зачистить. Контакт должен быть пружинящим, поэтому иногда его ламели требуется немного подогнать. Чтобы добраться до контактов, таймер необходимо разобрать. Делать это нужно с осторожностью, следя, чтобы при снятии крышки не потерять присутствующие там пружины и мелкие детали.

В некоторых микроволновых печах, например "MOULINEX", для того чтобы разобрать таймер, необходимо предварительно снять звонок. Обратите внимание на то, что винт, крепящий звонок, может иметь левую резьбу.

Структурная схема электронного блока управления показана на рис. 2.27.

Основным элементом блока управления микроволновой печи является микроконтроллер, в котором запрограммированы последовательность и значения выходных сигналов в зависимости от информации, поступающей на его входы. Главным источником входной информации служит клавиатура, на которой пользователь задает время и режимы приготовления пищи. Помимо этого, на вход микроконтроллера поступает сигнал о закрытии дверцы микроволновой печи и с различных датчиков, если такие имеются. Информация о выбранном режиме работы и о времени, остающемся до конца выполнения программы, отображается на индикаторе. В процессе работы микроконтроллер включает и выключает различные исполнительные устройства, к которым относятся реле, симисторы, пьезоэлектрические звонки и т.д. Для согласования по мощности исполнительные устройства, а иногда и устройства индикации подключаются через буферные усилители. Блок управления содержит также источник питания, состоящий из понижающего трансформатора, одного или нескольких выпрямителей и стабилизаторов.

Для ремонта блока управления его необходимо отсоединить от микроволновой печи, подать на него напряжение от независимого источника и поставить короткозамыкающую перемычку на блокирующий вход.

Рассмотрим более подробно основные узлы блока управления, присущие им неисправности и методы их устранения.

### Клавиатура

Подавляющее большинство микроволновых печей имеют псевдосенсорную пленочную клавиатуру. Принцип ее действия показан на рис. 2.28.

Клавиатура выполнена в виде трехслойной полимерной пленки, приклейенной на твердую поверхность. На верхний и нижний слои с внутренней стороны нанесены металлизированные или угольные контактные площадки, объединенные с помощью системы проводников в несколько шин. В месте расположения контактных площадок средний слой имеет вырезы, а на лицевой стороне

клавиатуры нанесены изображения кнопок. При нажатии на изображение кнопки контактные площадки замыкаются, подавая соответствующий сигнал на микроконтроллер. При отпускании кнопки клавиатура за счет эластичности материала восстанавливает исходную форму, и контакт размыкается. В качестве примера на рис. 2.29 показаны внутренняя структура и соединения проводников одной из наиболее часто встречающихся клавиатур, от блока управления "БУВИ-2".

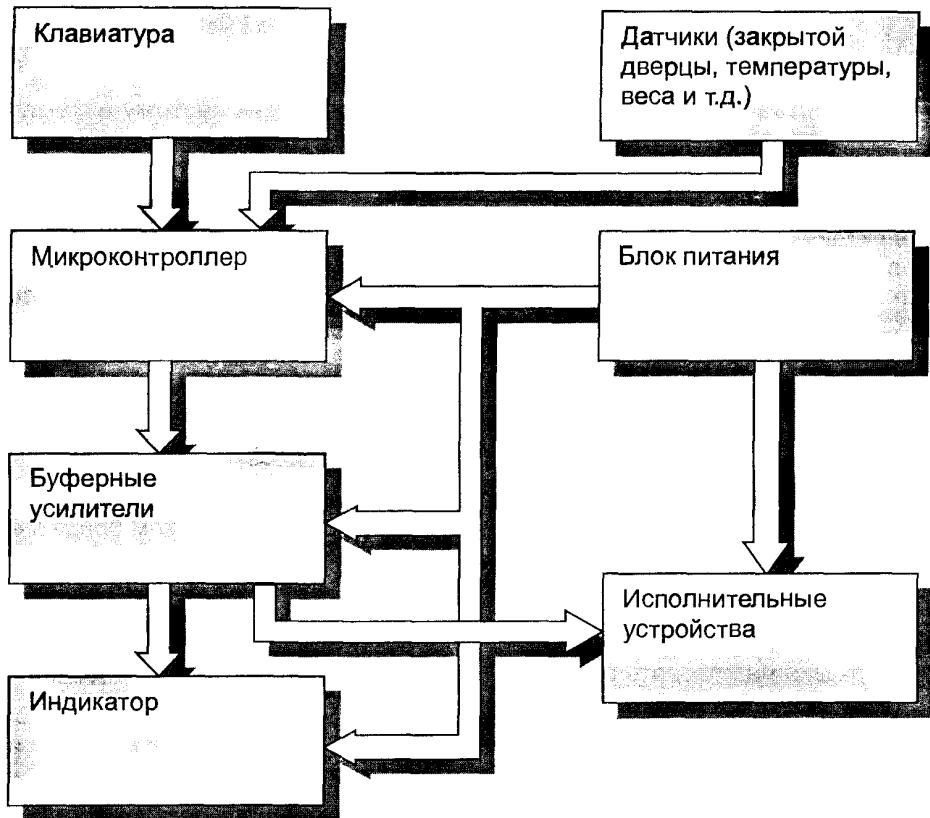


Рис. 2.27. Структурная схема электронного блока управления микроволновой печи

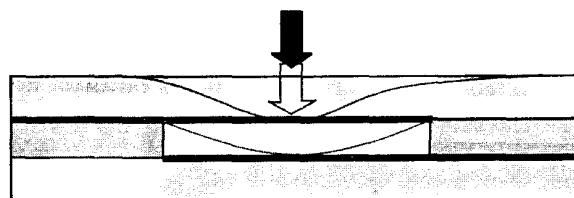


Рис. 2.28. Поперечное сечение пленочной клавиатуры в области замыкаемого контакта

Сомнения в исправности клавиатуры возникают в том случае, если эффект при нажатии на изображения кнопок либо вообще отсутствует, либо не соответствует ожидаемому. Разумеется, если ваши ожидания не выходят за рамки инструкции по эксплуатации.

Убедиться в том, что неисправности блока управления вызваны работой клавиатуры, можно, вынув клавиатуру из разъема и замкнув на короткое время отрезком провода те выводы блока управления, которые должны замыкаться кнопкой подозреваемой в саботаже. Если эффект соответствует предписанному, значит, ваши сомнения оправданы и клавиатуру нужно ремонтировать. Сложность заключается в том, что необходимо предварительно знать, какие выводы какой кнопкой замыкаются. Если требуемая информация в данной книге отсутствует, можно выбрать два пути дальнейших действий. Первый путь радикальный. Нужно отклеить клавиатуру от блока управления и по топологии, которая видна с обратной, прозрачной, стороны, составить схему коммутации. Второй путь — это так называемый метод "научного тыка". Он может быть использован, когда входные и выходные шины разделены между собой, как, например, на рис. 2.29. В этом случае схему ком-

мутации можно составить поочередным замыканием всех входных шин со всеми выходными, каждый раз анализируя полученный результат. Трудности здесь связаны с тем, что некоторые кнопки, например "ПУСК", можно включить, только если набрана предварительная информация. Поэтому составление схемы будет происходить в несколько этапов. Вначале отмечаются те соединения, которые можно установить сразу, а затем, используя установленные контакты для предварительного набора, определяются и недостающие звенья схемы коммутации. Любители головоломок и ребусов получат истинное наслаждение.

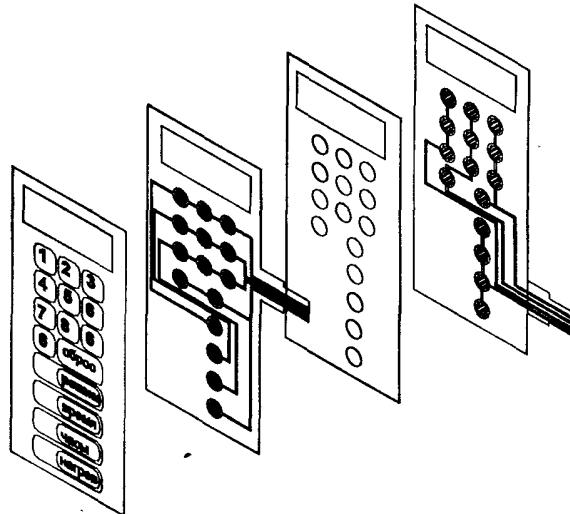


Рис. 2.29. Внутреннее строение пленочной клавиатуры от блока управления "БУВИ-2"

Типичными неисправностями, связанными с работой клавиатуры, являются:

- пропадание контакта в соединительном разъеме,
- обрыв проводящих дорожек,
- залипания.

Первый случай наиболее простой, и часто бывает достаточно поправить контакт в разъеме, чтобы устранить возникшие проблемы. Поэтому всегда имеет смысл начинать именно с проверки этого звена, особенно если выводы клавиатуры в разъеме имеют некоторый люфт и жестко не фиксированы.

Обрыв проводящих дорожек чаще всего происходит в выводах клавиатуры. Это обусловлено тем, что данное место наиболее подвержено деформации и, кроме того, проводники здесь являются открытыми, в отличие от остальных частей клавиатуры, где проводящее покрытие закрыто пленкой с обеих сторон. Обнаружить дефектные дорожки можно, рассматривая их на просвет. Восстановить поврежденные участки проще всего проводящим клеем. Технология такого ремонта настолько очевидна, что никаких пояснений не требуется. При отсутствии такого клея можно вырезать тонкую полоску медной или алюминиевой фольги и приклеить ее на поврежденный участок скотчем. Не следует пытаться решить проблему с помощью паяльника, поскольку при нагреве металла, из которого состоят проводящие дорожки, будет скатываться в шарики и таким образом только усугубит неприятности. Даже если вам удастся припаять перемычку, используя низкотемпературный припой, надежность такого соединения будет невелика. Через какое-то время припой отвалится, попутно прихватив с собой часть проводящих дорожек.

В некоторых случаях обрыв дорожек происходит внутри клавиатуры. Помимо производственного брака это может быть вызвано чрезмерным усердием при нажатии клавиш и попаданием влаги на проводящую поверхность. Как правило, дорожки изготовлены методом напыления тонкого слоя серебра на полимерную пленку. Присутствие влаги вызывает окисление серебра, что может послужить причиной разрушения дорожки. Характерно, что одновременно с этим может происходить и замыкание соседних дорожек, поскольку вода, перенасыщенная ионами серебра, является хорошим электропитом, проводящим ток. Поэтому при уходе за микроволновой печью клавиатуру можно протереть влажной ветошью, но нельзя ее мыть.

Несколько слов о том, как можно обнаружить обрыв проводящих дорожек. Для этого входные и выходные шины нужно соединить между собой и подключить к тестеру, как показано на рис. 2.30.

При такой схеме подключения при нажатии любой кнопки будет измеряться сопротивление соответствующего соединения. Если проводящие дорожки где-нибудь оборваны, то нажатие на определенные клавиши не приведет к изменению показаний прибора. Причем в зависимости от того, какие именно клавиши не срабатывают, можно ориентировочно определить местоположение дефектного участка. Например, если на предыдущем рисунке участок, отмеченный утолщенной линией, имеет обрыв, то не будут работать кнопки "5" и "6".

Если ни одна из кнопок не работает, то возможной причиной этого может быть неразомкнутый контакт в какой-либо кнопке или замыкание шин. Если виной всему кнопка, то проверить это можно, используя схему на рис. 2.30. Показания тестера будут фиксировать наличие замыкания, в то время как ни одна из кнопок не нажата. Убрав перемычки, соединяющие проводящие дорожки, и измерив сопротивление между каждой парой входных и выходных дорожек, залипшую кнопку можно локализовать. Причиной таких залипаний может быть деформация пленки и отслоение проводящего покрытия в области контактных площадок. Последний вариант типичен для клавиатур, у которых в качестве проводящего покрытия используется нечто, напоминающее уголь. Вещество, из которого состоят контактные площадки, осыпаясь, заполняет промежуток между ними и при некотором накоплении приводит к замыканию.

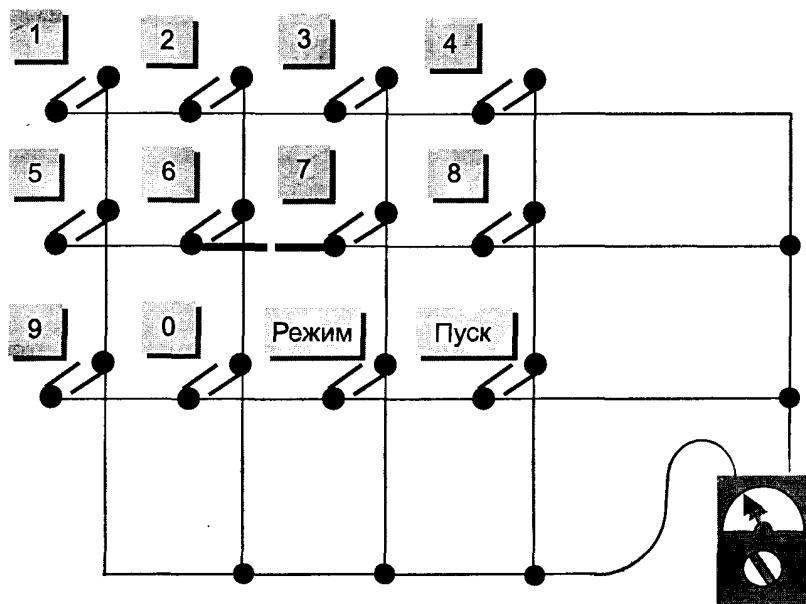


Рис. 2.30. Обнаружение обрыва проводящих дорожек в пленочной клавиатуре

Иногда замыкание происходит между соседними дорожками. В основном это происходит при попадании влаги внутрь клавиатуры и, как правило, вблизи ленточного вывода, где имеются небольшие щели. Обнаружить такой несанкционированный контакт можно путем измерения сопротивления между соседними дорожками. Оно должно быть бесконечным или около того. В противном случае можно отклеить клавиатуру от корпуса блока управления и через прозрачную тыльную сторону попытаться обнаружить место замыкания.

Теоретически считается, что клавиатура, как, впрочем, и большинство деталей микроволновой печи, ремонту не подлежит. И приходится действовать в соответствии с поговоркой: "Если нельзя, но очень хочется, то можно". Если в клавиатуре произошел внутренний обрыв или замыкание, то для восстановления ее работоспособности требуется вскрытие. Для этого нужно расчленить склеенные между собой слои в месте предполагаемого дефекта, устраниТЬ его и вновь все склеить. Чтобы вскрытие не показало, что большой умер от вскрытия, при его проведении нельзя допускать попадания клея на токопроводящие дорожки и желательно не притрагиваться к ним руками. Но даже при соблюдении всех мер предосторожности иногда подобная операция приводит к тому, что часть дорожки оказывается на одном слое, а часть — на другом. Чтобы при последующем склеивании контакт не исчез, нужно вдоль поврежденного участка проложить тонкую полоску фольги (либо воспользоваться токопроводящим клеем).

В последнее время кроме кнопок на лицевой панели блока управления иногда размещают механические генераторы импульсов. Эти устройства позволяют сократить время набора информа-

ции и уменьшить количество кнопок на клавиатуре. Принцип действия и устройство генератора импульсов очень просты и поясняются на рис. 2.31.

При повороте ручки генератора на некоторый угол  $\phi$  поворачивается и укрепленный на той же оси кронштейн 1. На кронштейне имеется две пары ламелей 2. Ламели первой пары поочередно замыкаются с веерообразно расположеннымными металлическими полосками 3, электрически соединенными между собой. Эти полоски могут быть изготовлены непосредственно на плате методом травления. Вторая пара ламелей обеспечивает скользящий постоянный контакт с выходными клеммами генератора. Если схема подключения механического генератора импульсов соответствует приведенной на рисунке, то поочередное замыкание и размыкание контакта между ламелями и полосками, при повороте ручки, приводит к появлению импульсов на его выходе. Ламели первой пары немного смещены друг относительно друга, поэтому выходные импульсы на выходах разнесены во времени. Это позволяет микроконтроллеру определить направление вращения ручки, что необходимо, если один и тот же генератор используется как для увеличения показаний индикатора, так и для их уменьшения.

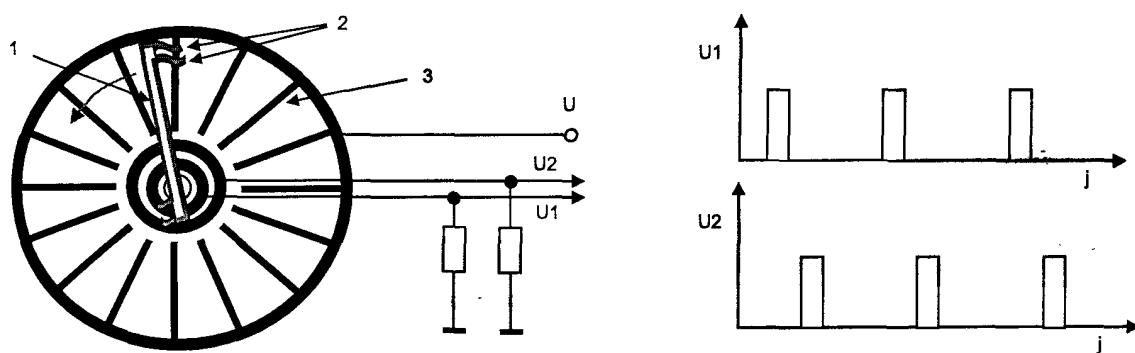


Рис. 2.31. Устройство механического генератора импульсов

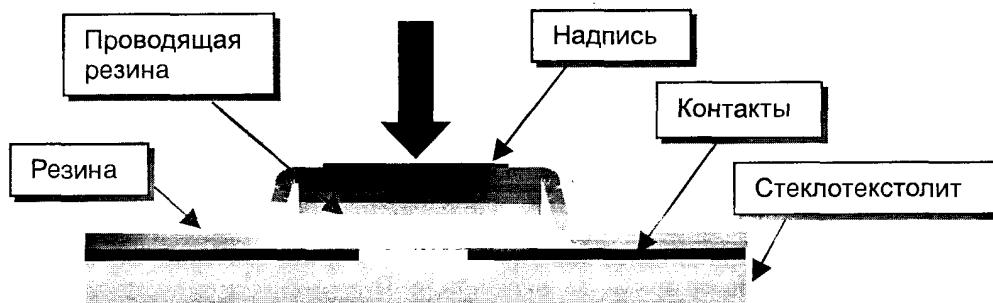


Рис. 2.32. Вариант кнопки для блока управления микроволновой печи

Иногда встречается тип клавиатуры, в котором кнопки изготовлены по планарной технологии, как показано на рис. 2.32.

При нажатии на кнопку замыкаемые контакты прижимаются цилиндром из проводящей резины, обеспечивая их замыкание. Сопротивление такого контакта может составлять сотни ом, однако этого достаточно для того, чтобы микроконтроллер отличил замкнутое состояние от разомкнутого. Однако с течением времени сопротивление по различным причинам может значительно возрасти, и взаимопонимание с контроллером пропадает. Исправить это можно, если прикрепить кусочек фольги на замыкающую поверхность.

### Индикатор

Для отображения вводимой с клавиатуры информации и текущего состояния работы микроволновой печи служат знакосинтезирующие индикаторы. Они преобразуют электрические сигналы в видимое изображение цифр, букв и т.д. Наибольшее распространение получили индикаторы, в основу работы которых положены такие физические эффекты, как: катодолюминесценция (в вакуумных люминесцентных), электрооптические эффекты в жидкокристаллах (в жидкокристаллических) и инжекционная электролюминесценция в р-п переходах (в полупроводниковых).

По способу отображения информации индикаторы можно подразделить на сегментные и матричные. В первом случае элементы отображения выполнены в виде сегментов, из которых можно составить цифры или буквы. Типичным представителем этого семейства может служить восьмисегментный индикатор, представленный на рис. 2.33а. Он позволяет индицировать все цифры и ограниченное число букв.

Матричный индикатор представляет собой набор элементов в виде точек, сгруппированных по строкам и столбцам (рис. 2.33б). С его помощью можно индицировать цифры, любые буквы, как латинского алфавита, так и кириллицы, а также различные знаки и пиктограммы.

Индикаторы могут быть многоразрядными, имеющими несколько знакомест в одном корпусе (рис. 2.33в). Если индикатор специально предназначен для работы в блоке управления микроволновой печи, он может содержать специфичные мнемосхемы, отображающие текущий режим работы.

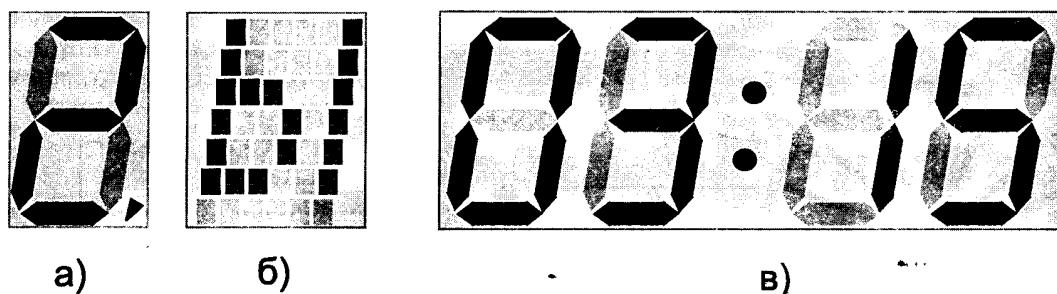


Рис. 2.33. Восьмисегментный (а), матричный (б) и многоразрядный (в) индикаторы

Существует две основные схемы включения знакосинтезирующих индикаторов: статическая и мультиплексная. При статическом режиме работы все элементы отображения (сегменты, точки и т.д.) имеют отдельные выводы. Управляющие сигналы подаются одновременно на все элементы, участвующие в отображении информации.

При мультиплексном режиме элементы отображения не имеют независимых выводов. Одноименные элементы всех знакомест (или элементы одной строки в матричном индикаторе) подключаются к отдельной общей шине питания. Напряжение на указанные шины подается последовательно во времени. В каждый конкретный момент под напряжением находится только одна шина. Знакоместа (столбцы в матричном индикаторе) имеют независимые выводы цепей управления. Если на какое-либо знакоместо подать постоянный управляющий сигнал, то поочередно будут высвечиваться все элементы данного знакоместа. Для того чтобы индицировался нужный набор сегментов, управляющий сигнал подается только в те моменты, когда на соответствующие этим сегментам шины подано напряжение питания. При этом может наблюдаться некоторое мерцание элементов отображения, поскольку время их включения относительно невелико, по сравнению с периодом между включениями. Чтобы это не раздражало глаза, частота подачи импульсов питания на шины должна быть более 40 Гц. В этом случае человеческий глаз не замечает мерцания, даже если оно имеется. В качестве наглядного примера на рис. 2.34 показан типичный индикатор для микроволновой печи и временные диаграммы сигналов на всех выводах при высвечивании слова "End", сигнализирующего об окончании работы.

Достоинством мультиплексного режима является то, что он позволяет значительно сократить число выводов индикатора. Например, для нормальной работы полупроводникового матричного индикатора на рис. 2.33б в статическом режиме требуется 43 вывода, а в мультиплексном — 13.

Рассмотрим более подробно конструкции и основные особенности индикаторов, используемых в микроволновых печах.

Вакуумный люминесцентный индикатор (рис. 2.35) представляет собой ламповый триод, заключенный в плоский стеклянный корпус, из которого откачен воздух. Аноды выполнены в виде сегментов, покрытых катодолюминофором, светящихся под воздействием электронной бомбардировки. В зависимости от состава применяемого люминофора сегменты могут иметь различные цвета свечения. Величина анодного напряжения большинства индикаторов составляет 27 — 30 В.

Прямонакальный катод выполнен в виде нескольких нитей тонкой вольфрамовой проволоки с оксидным покрытием, закрепленной на растяжках. Обычно питание накала осуществляется пере-

менным напряжением 2.4 В. Срок службы вакуумного люминесцентного индикатора в значительной степени определяется долговечностью оксидного катода. Рабочая температура катода, соответствующая номинальному напряжению накала, выбирается так, чтобы обеспечить его максимальную долговечность. Повышенное напряжение накала ускоряет процесс испарения эмиссионно-активного слоя, а пониженное ослабляет устойчивость катода к воздействию факторов, отравляющих оксидное покрытие. Если напряжение накала отличается от номинального на 10%, то срок службы индикатора сокращается примерно на порядок.

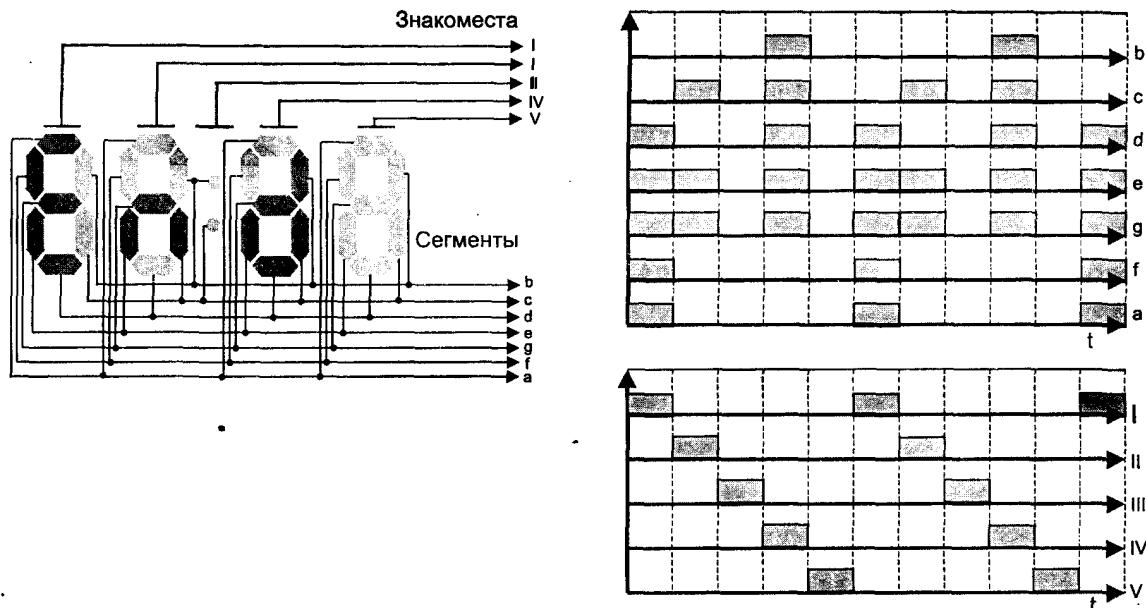


Рис. 2.34. Работа многоразрядного индикатора в мультиплексном режиме

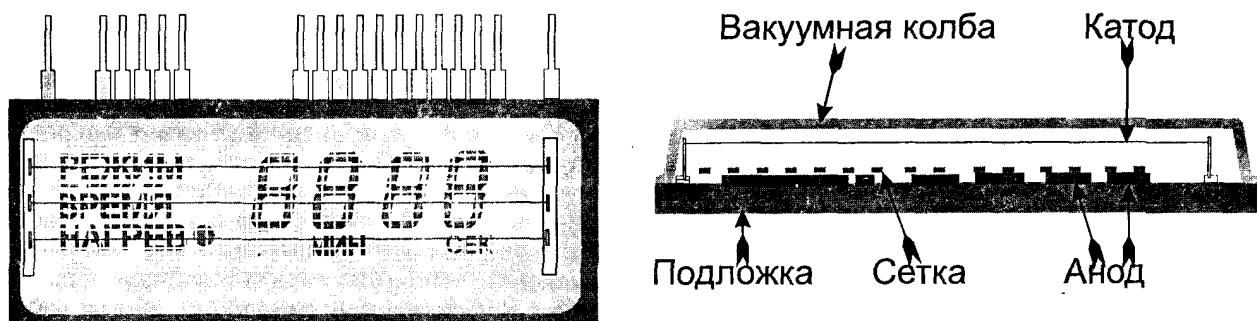


Рис. 2.35. Вакуумный люминесцентный индикатор для микроволновой печи

Сетка выполнена из вольфрама, имеет мелкую структуру и высокую прозрачность для электронов. Для полного снятия свечения анодов-сегментов на сетку необходимо подать запирающее (отрицательное) напряжение от 1.5 до 5 В.

Жидкокристаллические индикаторы являются пассивными. Сами они света не излучают, поэтому для их работы требуется источник проходящего или отраженного света. Жидкие кристаллы представляют собой органические соединения, находящиеся в промежуточном состоянии между твердым (криSTALLическим) и изотропно-жидким. Под воздействием электрического поля молекулы жидкого кристалла переориентируются, в результате чего меняется его прозрачность. На рис. 2.36 показана конструкция жидкокристаллического индикатора, работающего в отраженном свете. Между двумя прозрачными стеклянными пластинами 1 помещается жидкокристаллическое вещество 2. На внутреннюю поверхность верхней (лицевой) пластины наносятся электроды из прозрачной электропроводящей пленки 3 (например, двуокиси олова), выполненные в виде сегментов требуемой формы. Нижний электрод 4 имеет высокий коэффициент отражения и является общим для каждого знакоместа. Расстояние между пластинами составляет 5 — 20 мкм.

Если на какой-либо сегмент подано напряжение, то интенсивность отраженного света, проходящего сквозь жидкокристаллическое вещество, значительно ослабевает, в результате чего данный сегмент выглядит более темным. При отсутствии напряжения свет практически беспрепятственно отражается от зеркальной поверхности нижней пластины.

Достоинством жидкокристаллических индикаторов является их очень малое энергопотребление, недостатком — низкая контрастность, особенно при слабой освещенности. Указанный недостаток отсутствует в индикаторах, работающих в проходящем свете. Отличие таких индикаторов от рассмотренного состоит в том, что общий электрод также является прозрачным, а за нижней пластиной расположен внутренний источник света. Кроме того, существуют жидкокристаллические индикаторы, в основу работы которых положены другие физические эффекты, позволяющие, в частности, получать цветное изображение. Однако в настоящее время все эти разновидности индикаторов для микроволновых печей можно рассматривать как редкую экзотику.

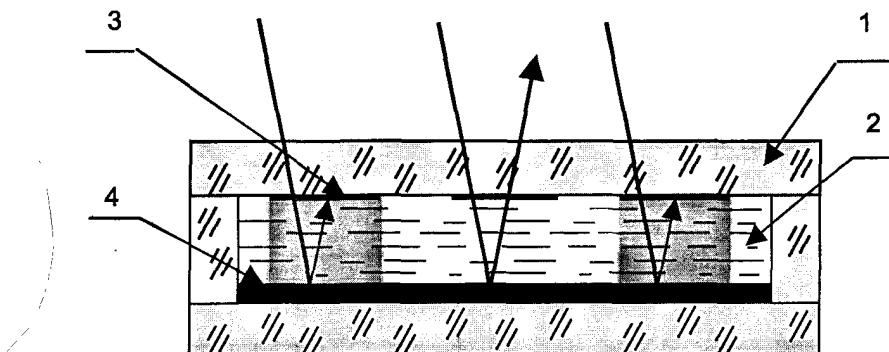


Рис. 2.36. Принцип действия и устройство жидкокристаллического индикатора

Ресурс жидкокристаллических индикаторов ограничен тем, что со временем ухудшается контраст между активными и пассивными зонами, нарушается ориентация молекул, увеличивается время переключения. Это связано с электрохимическими явлениями на границе жидкокристалл — подложка. Скорость деградационных процессов связана с наличием постоянной составляющей напряжения возбуждения, которая приводит к электролизу в жидкокристалле и газовыделению. Электроды теряют свою прозрачность, и сегменты становятся видимыми в отсутствие напряжения возбуждения, нарушаются герметичность, растет ток потребления.

Полупроводниковые индикаторы представляют собой набор светодиодов, выполненных в форме сегментов, расположенных на общей подложке. Излучение светодиода возникает в области р-п перехода при пропускании через него прямого тока. При этом происходит возбуждение атомов, т.е. "накачка" электронов на более высокие энергетические уровни. Такое состояние атомов является нестабильным, поэтому они стремятся вернуться в исходное положение. В процессе возврата дополнительная энергия, полученная во время возбуждения, высвобождается в виде фотонов, что приводит к свечению. Излучение светодиодов происходит в видимом и инфракрасном диапазоне длин волн. На полупроводники, излучающие энергию в инфракрасном диапазоне, иногда наносят люминофор, который преобразует невидимое излучение в видимое.

К достоинствам полупроводниковых индикаторов можно отнести низкое напряжение питания, совместимость с микросхемами, высокое быстродействие, механическую прочность, надежность и долговечность. К недостаткам относятся большие токи потребления, высокая стоимость.

Как правило, индикаторы для микроволновых печей ремонту не подлежат. Нет большого кризиса в том, чтобы при замене использовать индикатор другого типа, но основанного на том же принципе действия. Однако это потребует некоторой переделки печатной платы, поскольку выводы у индикаторов разных типов обычно не совпадают.

### **Тиристоры и симисторы**

Тиристор — это полупроводниковый прибор ключевого типа, проводящий ток в одном направлении. Он имеет три электрода: анод, катод и управляющий электрод. Внешний вид тиристоров и симисторов показан на рис. 2.37.

Анод тиристора электрически соединен с корпусом прибора. Семейство вольт-амперных характеристик тиристора показано на рис. 2.38. Прямые ветви каждой из характеристик имеют три участка. Первый от начала координат до точки А, участок с высоким сопротивлением аналогичен

обратной ветви обычного выпрямительного диода. В этом состоянии тиристор выключен, и ток через него практически не проходит. Второй участок, между точками А и В, соответствует неустойчивому состоянию, когда тиристор даже при незначительном превышении напряжения, называемого напряжением переключения  $U_{\text{пер}}$ , переходит в состояние с малым сопротивлением (точка В). Этот участок характеризуется отрицательным дифференциальным сопротивлением, увеличение тока на нем сопровождается снижением напряжения между катодом и анодом. Участок от точки В и далее характеризуется высокой проводимостью или малым сопротивлением и аналогичен прямой ветви полупроводникового диода.

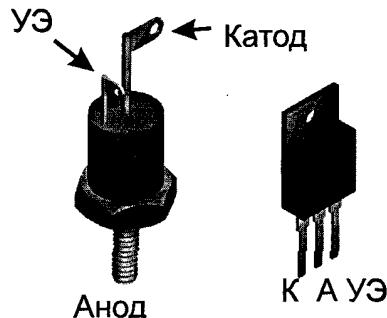


Рис. 2.37. Внешний вид корпусов для тиристоров и симисторов используемых в микроволновых печах

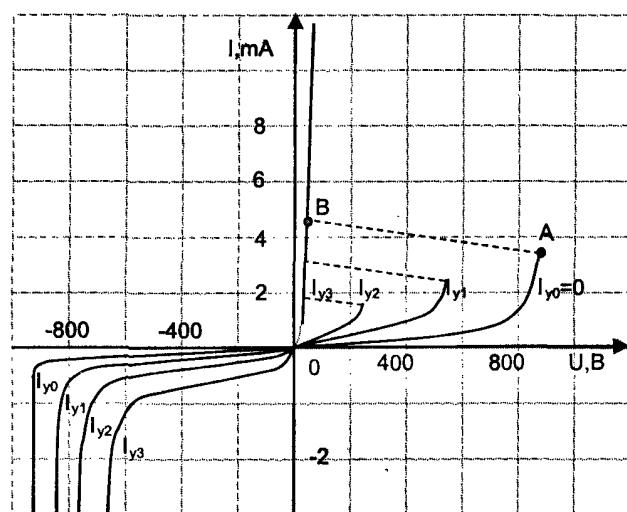


Рис. 2.38. Вольт-амперные характеристики тиристоров

Если через цепь управления пропустить ток управления  $I_y$ , то напряжение переключения уменьшается. Постепенно увеличивая  $I_y$ , мы достигнем тока спрямления, при котором участок с отрицательным сопротивлением полностью исчезает.

На практике рабочее напряжение выбирается меньше максимального напряжения переключения, которое достигается при  $I_y=0$ , поэтому при отсутствии тока управления тиристор находится в закрытом состоянии. В свою очередь, ток управления обычно выбирается больше, чем ток спрямления, соответственно, при наличии тока управления тиристор всегда обладает низким сопротивлением независимо от анодного напряжения.

Примечательной особенностью тиристора является то, что он, переключенный в состояние с высокой проводимостью, будет находиться в этом состоянии сколь угодно долго даже при снятии управляющего сигнала. Это свойство позволяет включать тиристор с помощью коротких импульсов управляющего тока. Для того чтобы выключить тиристор, необходимо путем уменьшения напряжения в анодной цепи, снизить ток до некоторого малого значения, имеющего порядок тока спрямления и называемого током удержания. Если тиристор стоит в цепи переменного тока, то его выключение автоматически происходит в момент прохождения напряжения через ноль.

Обратная ветвь вольт-амперной характеристики тиристора при отсутствии управляющего тока аналогична соответствующей характеристике диода. Появление тока управления вызывает не-

значительное увеличение обратного тока тиристора. В целом можно считать, что при отрицательном напряжении на аноде ток через тиристор не идет независимо от состояния управляющего электрода.

Тиристоры используются, в основном, как электронные ключи и регуляторы мощности. Они способны практически без потерь коммутировать цепи, по которым проходят токи в десятки и даже сотни ампер. Однако тиристоры имеют одно существенное недостаток — они проводят ток только в одну сторону, что ограничивает их использование в цепях переменного тока.

Этот недостаток устранен в симисторах. Свое наименование симистор получил от объединения слов "симметричный тиристор". Кое-кто на Западе называет симистор триаком. Иногда это слово используется и в нашей технической литературе. Чтобы не возникало путаницы, будем считать, что "триак" — это псевдоним симистора.

Симистор способен проводить ток в обоих направлениях. Переключение из закрытого состояния в открытое происходит при подаче напряжения на управляющий электрод. Для того чтобы вновь закрыть симистор, необходимо изменить полярность напряжения на основных электродах. В этом нет проблем, поскольку симистор предназначен для работы в цепях переменного тока, где это автоматически происходит через каждые полпериода.

Конструктивно симисторы изготавливаются в тех же корпусах, что и тиристоры. Поэтому, по аналогии, основные электроды симисторов иногда называют анодом и катодом. На самом деле понятия "анод" и "катод" для симистора теряют свой смысл, поскольку его основные электроды равнозначны. Существуют специальные названия для основных электродов симистора, используемые в технической литературе — силовой электрод со стороны управляющего электрода, сокращенно СЭУ, и силовой электрод со стороны основания прибора — СЭ. Однако русский язык отвергает такие длинные и мудреные названия, поэтому в обиходе по-прежнему пользуются терминами "анод" и "катод".

Вольт-амперные характеристики симистора показаны на рис. 2.39.

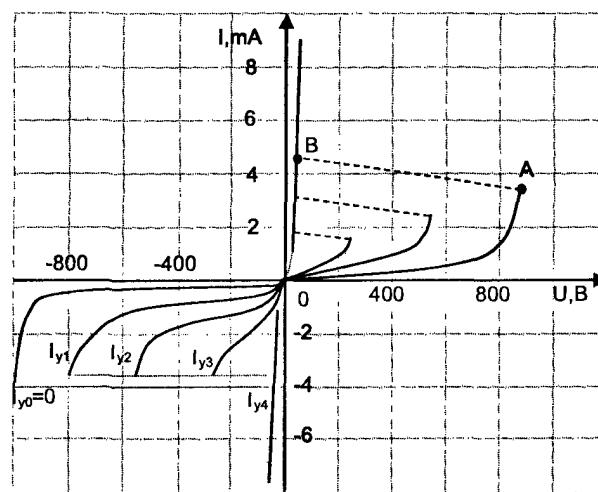


Рис. 2.39. Вольт-амперные характеристики симисторов

В отличие от тиристора, у симистора обратная ветвь характеристики напоминает прямую ветвь. Но именно напоминает, а не является ее зеркальным отражением. Симистор нельзя рассматривать как два встречно включенных тиристора в одном корпусе. В противном случае пришлось бы иметь два независимых управляющих электрода, что заметно усложняет схему управления. Включение симистора в произвольном направлении осуществляется от одного источника сигнала. Причем управляющий сигнал может быть как разнополярным, когда полярность между катодом и управляющим электродом соответствует полярности между катодом и анодом, так и однополярным, когда независимо от полярности напряжения между анодом и катодом на управляющий электрод подается отрицательный относительно катода потенциал. Первый вариант более предпочтителен, с точки зрения параметров симистора, но в ряде случаев проще использовать второй вариант.

Основные отличия между прямыми и обратными ветвями вольт-амперных характеристик симистора состоят в том, что напряжение переключения и ток спрямления для прямой ветви меньше

соответствующих параметров обратной ветви. Из этого можно сделать следующие практические выводы: если напряжение между анодом и катодом больше напряжения переключения прямой ветви и меньше напряжения переключения обратной ветви, то симистор начнет проводить ток в одном направлении, т.е. будет работать как выпрямительный диод. Аналогичная ситуация возникнет, если напряжение на приборе в обоих случаях меньше напряжения переключения, но на управляющем электроде имеется сигнал, позволяющий включить симистор только в прямом направлении. Поскольку параметры полупроводниковых приборов заметно зависят от рабочей температуры, то при выборе симистора необходимо, чтобы рабочее напряжение с заласом отличалось от напряжения переключения. То же самое относится и к току управления: он должен быть заведомо больше тока спрямления.

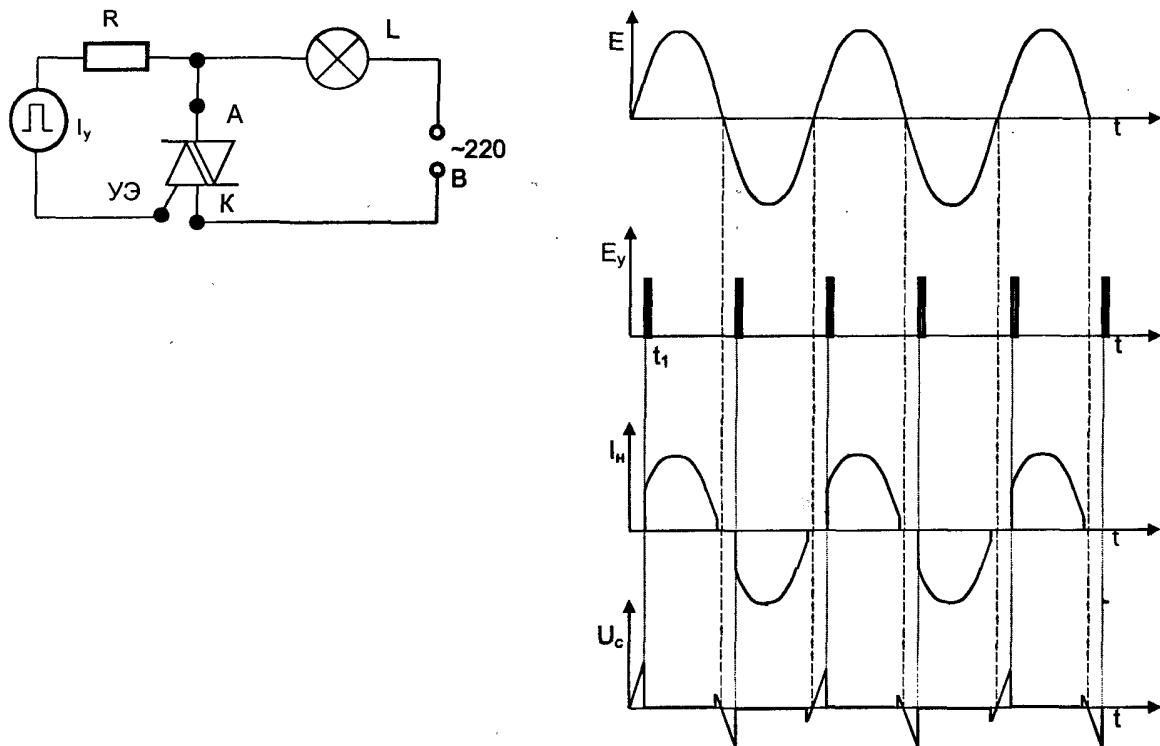


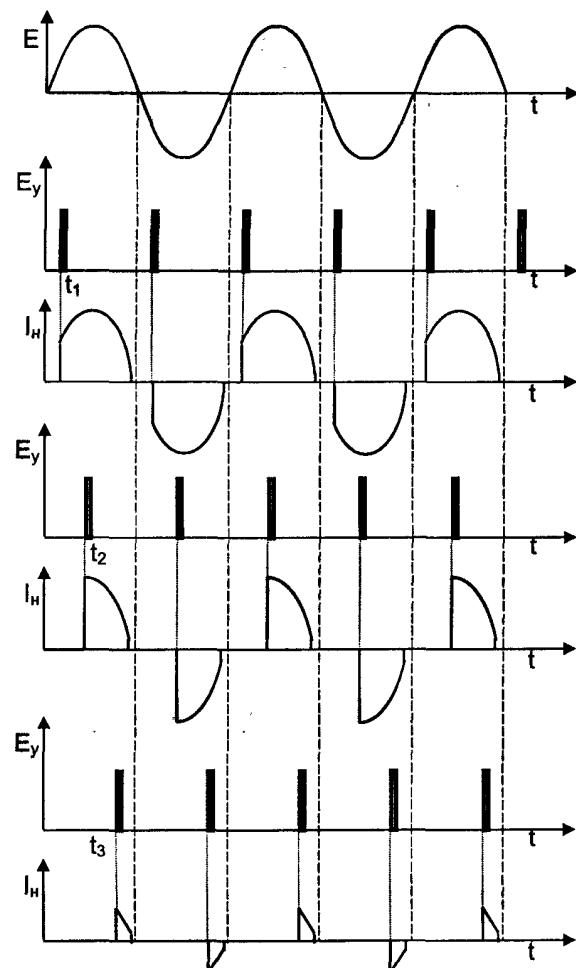
Рис. 2.40. Схема включения симистора в цепь переменного тока и соответствующие ей осцилограммы токов и напряжений

Типовая схема включения симистора в цепь переменного тока и соответствующие ей осцилограммы токов и напряжений показаны на рис. 2.40. В качестве нагрузки в схеме используется обыкновенная лампа накаливания. Источником анодного напряжения является бытовая электрическая сеть, а на управляющий электрод подаются импульсы отрицательной полярности от специального генератора.

В моменты времени  $t \pm n\pi$  управляющие импульсы отпирают симистор, его сопротивление резко снижается и через него начинает проходить ток. Напряжение на симисторе в этот момент падает примерно до 1 В. Такое состояние продолжается до тех пор, пока переменный ток, проходящий через симистор, не станет меньше тока удержания. В этот момент симистор запирается и остается в таком положении до прихода следующего управляющего импульса. После этого все повторяется, но с обратной полярностью токов и напряжений. В принципе, управляющий сигнал не обязательно должен быть импульсным. Он может быть и постоянным. В этом случае симистор отпирается, когда анодный ток превышает ток спрямления. При этом возрастает ток, потребляемый цепью управления, но, как правило, он несопоставим с током анодной цепи, и этим фактором можно пренебречь.

Достоинство импульсного управления заключается в том, что при этом появляется возможность регулировки выходной мощности. Если задерживать момент подачи управляющих импульсов на некоторое время относительно начала полупериода, то действующее значение напряжения, прикладываемого к нагрузке, уменьшится (рис. 2.41). Таким образом, изменяя время задержки управляющих импульсов, можно регулировать мощность в нагрузке от максимального значения до нуля.

В микроволновых печах рассмотренный выше принцип фазового управления мощностью, как правило, не применяется. Однако он используется в специальных сетевых адаптерах, позволяющих в сеть напряжением 220 В включать приборы, предназначенные для работы с меньшим напряжением. В частности, во многих странах мира (например, в США), стандартное напряжение бытовой электрической сети составляет 110 В, соответственно все электробытовые приборы, приобретенные там и включенные здесь, будут работать одинаково: в качестве фейерверка. Чтобы этого не произошло, и служат вышеуказанные адаптеры. Они представляют собой компактные приборы, по виду напоминающие электрический тройник, вставляемый в розетку, и начинены симистором и схемой его управления.



**Рис. 2.41. Форма тока в нагрузке в зависимости от времени подачи импульса на управляющий элекротод симистора**

В микроволновых печах нагрузка всегда включается через трансформатор, который, в частности, может работать в режиме насыщения (рис. 2.42). В этом случае кривая тока будет несколько отличаться от приведенной выше.

Во-первых, огибающая линия тока изменит свою форму. Из синусоидальной она превратится в более плоскую, ограниченную током насыщения. Кроме того, ток при индуктивной нагрузке отстает по фазе от напряжения на угол  $\phi$ , примерно равный  $\pi/2$ . Величина этого угла зависит от соотношения между активной и реактивной составляющими сопротивления нагрузки. Вследствие этого на тот же угол должны быть смешены и управляющие импульсы. Для обеспечения надежного включения в системах с индуктивными нагрузками чаще всего применяют широкие управляющие импульсы или пачки узких импульсов.

Как было установлено ранее, неправильный выбор режима может привести к тому, что симистор будет работать только в положительные полупериоды. В случае активной нагрузки это обычно не влечет за собой особых последствий. Однако при индуктивном характере нагрузки это чревато большими неприятностями. Ток нагрузки будет содержать постоянную составляющую, для

которой индуктивность практически не представляет сопротивления. В результате, если в качестве нагрузки используется трансформатор микроволновой печи, его первичная обмотка будет сильно перегреваться и поручительство за ее дальнейшую работоспособность будет граничить с безответственностью. В микроволновых печах типа "Лена" это основная причина выхода из строя накальных трансформаторов. Причем самое неприятное в этом случае то, что процесс может начаться самопроизвольно, в тот момент, когда печь находится в нерабочем состоянии, но подключена к сети.

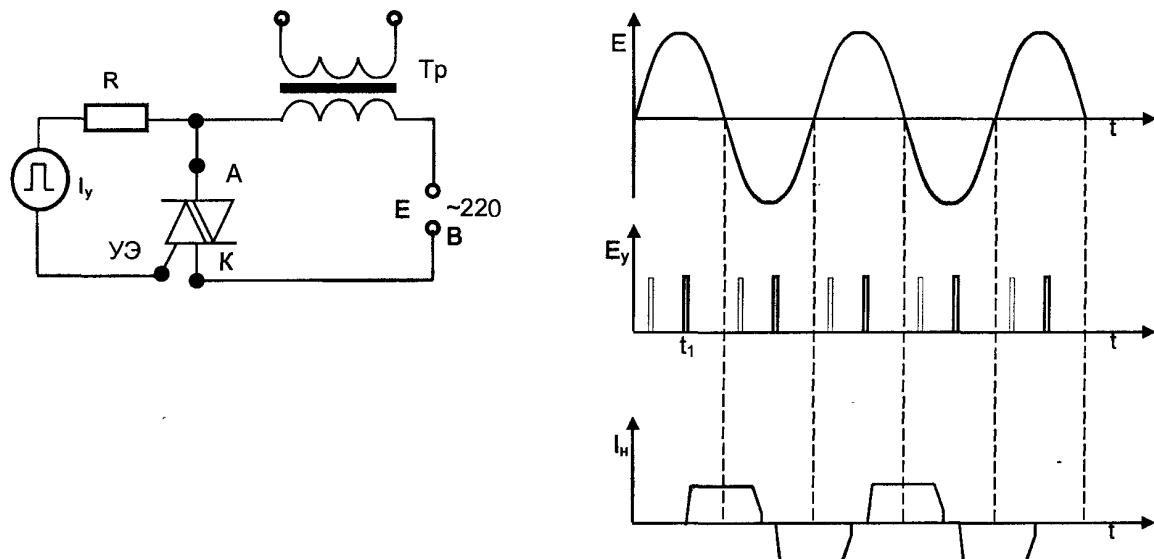


Рис. 2.42. Особенности включения через симистор трансформатора микроволновой печи

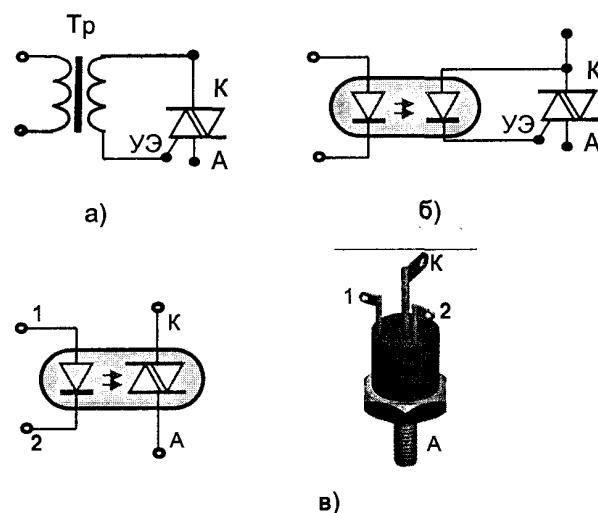


Рис. 2.43. Варианты электрической развязки силовой и управляющей цепей при использовании симистора

Возможной причиной неправильного включения симистора может быть выход из строя одного из плеч диодного моста, питающего цепь управления. При этом в один из полупериодов сигнал управления либо вообще отсутствует, либо включает симистор с задержкой, что приводит к асимметричной работе последнего и, как результат, к появлению постоянной составляющей тока со всеми вытекающими последствиями.

В некоторых случаях, для того чтобы обеспечить хорошую развязку между анодной и управляющей цепями, управляющий электрод подключается к схеме через импульсный трансформатор или оптронную пару (рис. 2.43а, б). В последнем варианте симистор отпирается за счет возникающей на электродах фотодиода электродвижущей силы при его освещении светодиодом. Однако дан-

ная схема будет работать только при небольших токах управления. Ситуация упрощается, если в качестве переключающего элемента использовать оптосимистор (рис. 2.43в). Его отличие от обычного симистора состоит в том, что он не имеет управляющего электрода, а в проводящее состояние включается за счет фотоэффекта при освещении р-п переходов встроенным в корпус светодиодом. Поэтому анодная цепь оптосимистора полностью изолирована от цепи управления.

### Микроконтроллеры

Контроллером принято называть специализированную микроЭВМ, предназначенную для управления конкретными устройствами. Набор функций контроллера обычно ограничен рамками тех задач, которые необходимо решать с помощью этих устройств. Если все основные элементы контроллера расположены на одной микросхеме, то его без колебаний можно назвать микроконтроллером (рис. 2.44).

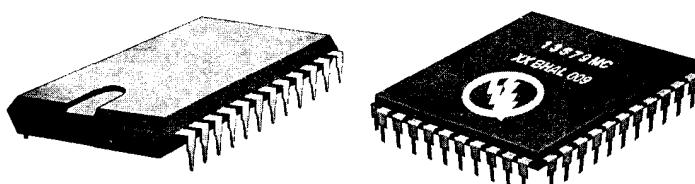


Рис. 2.44. Внешний вид некоторых микроконтроллеров

С появлением микроконтроллеров цифровая и цифро-аналоговая схемотехника вступила в качественно новый этап своего развития. Задача всякой электронной схемы — это генерация требуемых выходных сигналов в зависимости от сигналов на входе. Раньше для решения этой задачи во многих случаях требовалось создание сложных электронных схем, состоящих из триггеров, логических элементов, дешифраторов и т.п. При этом небольшое изменение функций схемы иногда требовало существенной ее переделки. Микроконтроллер позволяет тот же перечень задач решать программными средствами. В этом случае соотношение между входными и выходными сигналами определяется текстом программы, которая при желании достаточно просто может быть изменена. Таким образом, одна и та же схема может быть использована и для управления микроволновой печью, и для регулировки расхода топлива в автомобиле.

Сфера применения микроконтроллеров постоянно расширяется. Это связано с тем, что они обладают большими возможностями при сравнительно низкой себестоимости. В настоящее время в мире ежегодно продаются сотни миллионов микроконтроллеров различного назначения. Практически вся бытовая техника имеет модели со встроенными микроконтроллерами. В состав некоторых микросхем иногда включается миниатюрная литиевая батарея, и таким образом появляется возможность использовать микроконтроллеры в предметах, которые связаны с электричеством примерно так же, как соленый огурец с теоремой Пифагора. Примером могут служить различные смарт-карты, самонаводящиеся авиабомбы и музыкальные поздравительные открытки. Похоже, недалек тот день, когда микроконтроллерами будут укомплектованы гвозди и туалетная бумага.

В блоках управления микроволновых печей используются простейшие 8-битные контроллеры. Как правило, они относятся к разряду "заказных" и имеют однократно программируемую память, т.е. указанные микроконтроллеры предназначены для работы исключительно в конкретном устройстве и не могут быть заменены ни на что другое. "Заказной" характер микроконтроллера означает, что фирма потребитель заказывает его у фирмы производителя под свою конкретную разработку. Следствием этого является то, что из-за ограниченного спроса на эти изделия они практически отсутствуют в свободной продаже. Поэтому, если микроконтроллер вышел из строя, бессмысленно искать ему замену в магазине радиотоваров. Единственное место, где его можно отыскать, это сервисная ремонтная служба компании, производителя данной бытовой техники. Цели и объем данной книги не позволяют подробно останавливаться на устройстве и описании работы каждого из многочисленного семейства микроконтроллеров. (Для справки: только компания "Моторопа" производит более 300 наименований.) Поэтому мы рассмотрим только общие вопросы, которые позволяют как-то ориентироваться в этой проблеме, а конкретные рецепты приводятся непосредственно в описаниях работы некоторых блоков управления.

В состав микроконтроллера входят следующие основные элементы: микропроцессор, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ или RAM, в латинской транскрипции), постоянное запоминающее устройство (ПЗУ или ROM), порты ввода-вывода. Дополнительно контроллеры могут

комплектоваться различными таймерами, аналого-цифровыми преобразователями и т.п., в зависимости от сферы их применения. Блок-схема типового контроллера представлена на рис. 2.45.

Основной элемент микроконтроллера — это процессор. Он синхронизирует работу всех остальных устройств и следит за их деятельностью. Кроме того, внутри процессора имеется арифметико-логическое устройство (АЛУ), которое условно можно представить как встроенный калькулятор. Во время работы процессор последовательно считывает информацию из памяти, распознает записанные там инструкции и либо сам их исполняет, например, когда требуются вычисления, либо поручает это своим коллегам.

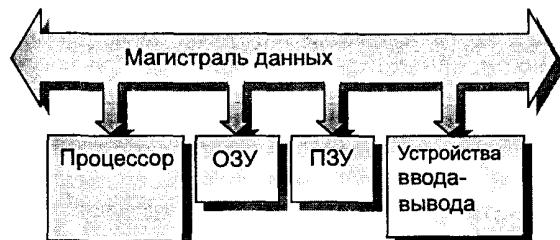


Рис. 2.45. Блок-схема контроллера

Последовательность действий процессора задается программой, хранимой в ПЗУ. Обычно программа записывается в процессе производства микроконтроллера и после этого не может быть изменена. Объем постоянной памяти обычно составляет единицы или десятки килобайт. (Один байт информации позволяет хранить любую цифру, букву кириллицы или латинского алфавита, математические и некоторые другие знаки, всего 256 символов, поэтому он принят в качестве единицы измерения.)

Вводимые пользователем данные (время работы, режим и т.д.) и результаты промежуточных вычислений процессора хранятся в ОЗУ. Информация, хранимая в ОЗУ, в любой момент может быть прочитана процессором или изменена. При отключении питания информация пропадает, в отличие от ПЗУ, где она хранится вечно. Объем ОЗУ в микроконтроллерах невелик и составляет всего несколько сотен байт.

Порты ввода-вывода служат для связи микроконтроллера с внешним миром. Они обеспечивают ввод информации с клавиатуры, ее отображение на индикаторе и выдачу управляющих сигналов на исполнительные устройства, такие, как реле, симисторы, сигнальные зуммеры и т.д. Для согласования по мощности выходы портов иногда подключают к исполнительным устройствам через буферные усилители.

В некоторых печах имеются разного рода датчики (температуры, пустой камеры, веса, влажности и т.д.), которые имеют аналоговый сигнал на выходе. Для преобразования этих сигналов в понятный микроконтроллеру цифровой код служит входящий в его состав аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Если печь имеет сразу несколько датчиков, АЦП может работать в мультиплексном режиме, поочередно отслеживая их показания.

Передача данных от одного блока к другому осуществляется по магистрали данных. Выходы всех блоков микроконтроллера имеют три устойчивых состояния: логические “0” и “1”, а также обрыв (так называемое Z-состояние). В последнем случае блок может быть полностью электрически отсоединен от магистрали данных. Это позволяет процессору упорядочить связь между блоками таким образом, чтобы в каждый момент времени к магистрали данных было подключено только по одному выходу и требуемое число входов.

Основной вопрос при ремонте блока управления микроволновой печи — это определить, связана ли помеха с работой микроконтроллера, и если да, то можно ли этому помочь. Необходимо заметить, что подобные неисправности встречаются не часто, поэтому, прежде чем грешить на микроконтроллер, нужно убедиться в том, что проблема не связана с более простыми вещами. Прежде всего необходимо убедиться в наличии питания и его соответствии номинальному значению. Имеет смысл просмотреть печатную плату на предмет обнаружения обрывов и “закороток”. В качестве последних иногда служат плоды пищеварения известных своей прожорливостью и плодовитостью насекомых. “Закорачивание” может произойти также в клавиатуре. Невозможность запуска может свидетельствовать об отсутствии сигнала блокировки дверцы.

Как уже отмечалось, практически невозможно найти замену неисправному микроконтроллеру. Если он вышел из строя, то у вас имеется два выхода: выбросить блок управления или попы-

таться его исправить. Первое быстрее. Сразу отметим, что применительно к печам российского производства ("Берегиня", "Электроника-25" и т.д.), в которых контроллер выполнен на основе однокристальной микроЭВМ общего назначения с внешним ПЗУ, подобная дилемма возникает при неисправном ПЗУ. В некоторых печах (например, "Gold Star") вышедший из строя микроконтроллер иногда можно искусственно реанимировать, но такое случается относительно редко. Теоретически возможно поставить универсальный программируемый микроконтроллер вместо сломанного. Для этого, например, может сгодиться программируемая однокристальная микроЭВМ семейства MK51 (российский аналог КМ1816ВЕ51). Автору в своей практике приходилось проделывать подобную процедуру, однако рекомендовать ее для массового использования вряд ли целесообразно.

Основная проблема заключается в написании программы, которая должна обеспечивать управление всеми функциями микроволновой печи с учетом особенностей существующей схемы. Даже у специалиста это может отнять от нескольких дней, до нескольких недель. Кроме того, для "прошивки" микросхемы требуются компьютер и программатор. Поэтому мы не будем детально останавливаться на этом вопросе: тот, кто чувствует в себе способность справиться с этой задачей, скорее всего, обойдется без авторских рекомендаций, а неспециалисту лучше не добавлять себе головной боли. Легче не ввязываться, чем развязаться.

## 2.5. Прочие элементы микроволновой печи

Термореле предназначены для отключения микроволновой печи при ее перегреве. Внешний вид типичного термореле представлен на рис. 2.46.

Термореле устанавливаются на магнетрон, на внешнюю поверхность камеры и иногда на трансформатор, вентилятор и воздуховод. Изготавливаются на разную температуру отключения (см. табл. 2.4)

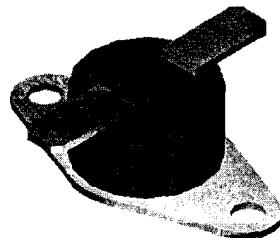


Рис. 2.46. Термореле

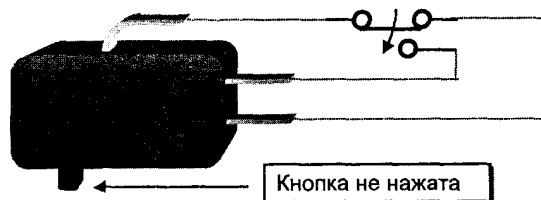


Рис. 2.47. Микропереключатель

Отключенное термореле автоматически восстанавливает соединение, после того как его температура снизится до температуры включения. У нормально работающей микроволновой печи магнетрон нагревается до 80 — 100°C, поэтому с учетом некоторого запаса на него устанавливаются термореле с температурой отключения 120 — 145°C.

Микропереключатели используются для блокировки дверцы и в некоторых случаях в качестве компонентов кнопки запуска и регулятора мощности в таймере. Внешний вид и назначение контактов показаны на рис. 2.47.

Вентиляторы служат для охлаждения магнетрона. При мощности последнего 750 — 850 Вт, они должны обеспечивать плотность воздушного потока 1 м<sup>3</sup>/мин. В некоторых печах воздушный поток от вентиляторов осуществляет также вращение диссектора.

Гриль представляет собой инфракрасный излучатель, выполненный в виде мощного нагревательного элемента, заключенного в керамические цилиндры или металлическую оболочку специ-

Таблица 2.4

Тип	Температура отключения	Погрешность $\pm^{\circ}\text{C}$ .	Температура включения	Погрешность $\pm^{\circ}\text{C}$ .
BTL-30	30	3	15	6
BTL-40	40	3	25	6
BTL-50	50	3	35	6
BTL-60	60	3	45	6
BTL-70	70	3	55	6
BTL-80	80	3	65	6
BTL-90	90	3	75	6
BTL-100	100	4	80	7
BTL-110	110	4	90	7
BTL-120	120	4	98	7
BTL-130	130	4	110	8
BTL-140	140	4	115	8
BTL-150	150	7	120	8
BTL-160	160	7	130	8

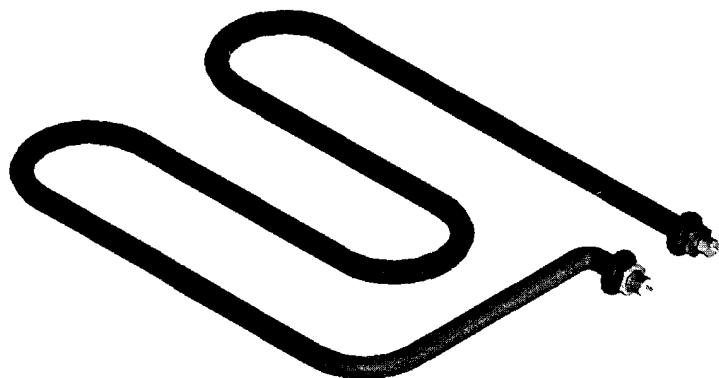


Рис. 2.48. Гриль

альной формы (рис. 2.48). Потребляя примерно такую же мощность, что и магнетрон, гриль медленнее нагревает продукт, за счет инерционности и более низкого КПД. Однако в отличие от микроволн, нагревающих продукт изнутри, гриль производит нагрев снаружи, образуя на нем корочку. Сочетание гриля с микроволновым излучением позволяет достичь хорошего качества и привычного внешнего вида приготовляемого продукта за короткое время. Гриль является одним из самых надежных элементов микроволновой печи. В практике автора не встречалось случая, когда бы требовалась его замена.

Конвектор встречается в наиболее дорогих моделях микроволновых печей. Принцип его действия аналогичен тому, который применен в недавно появившихся конвекционных печах. Специальный вентилятор осуществляет циркуляцию воздуха внутри камеры с одновременным его подогревом. Для этого в задней стенке камеры имеется ряд неизлучающих отверстий. Замкнутое

Таблица 2.4

Тип	Температура отключения	Погрешность $\pm$ °С.	Температура включения	Погрешность $\pm$ °С.
BTL-30	30	3	15	6
BTL-40	40	3	25	6
BTL-50	50	3	35	6
BTL-60	60	3	45	6
BTL-70	70	3	55	6
BTL-80	80	3	65	6
BTL-90	90	3	75	6
BTL-100	100	4	80	7
BTL-110	110	4	90	7
BTL-120	120	4	98	7
BTL-130	130	4	110	8
BTL-140	140	4	115	8
BTL-150	150	7	120	8
BTL-160	160	7	130	8



Рис. 2.48. Гриль

альной формы (рис. 2.48). Потребляя примерно такую же мощность, что и магнетрон, гриль медленнее нагревает продукт, за счет инерционности и более низкого КПД. Однако в отличие от микроволн, нагревающих продукт изнутри, гриль производит нагрев снаружи, образуя на нем корочку. Сочетание гриля с микроволновым излучением позволяет достичь хорошего качества и привычного внешнего вида приготовляемого продукта за короткое время. Гриль является одним из самых надежных элементов микроволновой печи. В практике автора не встречалось случая, когда бы требовалась его замена.

Конвектор встречается в наиболее дорогих моделях микроволновых печей. Принцип его действия аналогичен тому, который применен в недавно появившихся конвекционных печах. Специальный вентилятор осуществляет циркуляцию воздуха внутри камеры с одновременным его подогревом. Для этого в задней стенке камеры имеется ряд неизлучающих отверстий. Замкнутое

пространство камеры приводит к тому, что воздух в ней за счет постоянного подогрева может достигать температуры более 200°C. Образно говоря, конвектор — это плод любви электропечи и кастрюли. Печи с конвектором обычно имеют датчик температуры. Когда воздух в камере нагревается до заданного значения, нагревательный элемент отключается, а вентилятор продолжает работать. При остывании воздуха нагреватель включается вновь. Конструкция микроволновой печи со встроенным конвектором схематично показана на рис. 2.49.

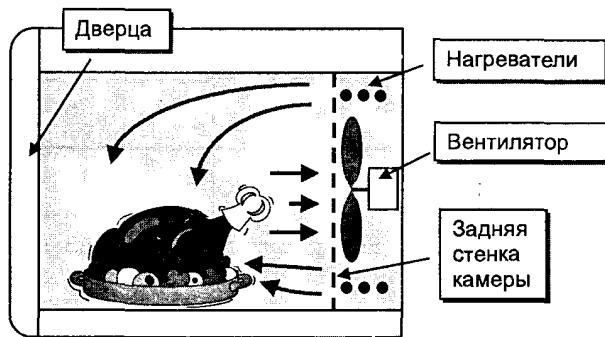


Рис. 2.49. Устройство конвектора микроволновой печи

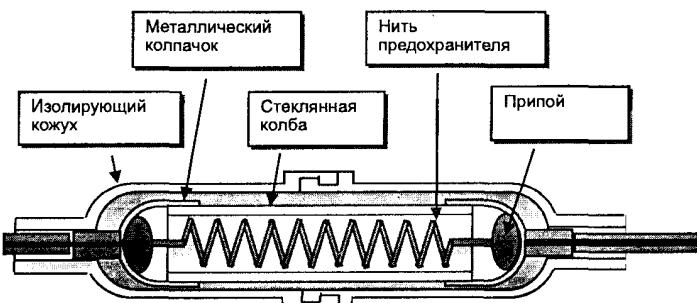


Рис. 2.50. Устройство высоковольтного предохранителя

Высоковольтный предохранитель предназначен для защиты трансформатора от перегрузки. Его конструкция показана на рис. 2.50.

В отличие от обычного предохранителя, его нить не перегорает. При повышенном токе происходит размягчение припоя, и пружинящая нить отсоединяется в месте спая, разрывая электрическую цепь. Восстановление предохранителя особой трудности не представляет, для этого достаточно подпаять нить на старое место. Трудности могут появиться при попытке снять металлический колпачок со стеклянной трубки. Это можно сделать, только если колпачок предварительно хорошо разогреть паяльником.

## 2.6. Перспективы развития микроволновых печей

Название этой главы вводит в искушение заняться предсказаниями, причислив себя к бесчисленному отряду ясновидящих. Удобнее всего предрекать, что будет лет через сто, поскольку, к тому времени как выяснится абсурдность измышлений предсказателя, не будет ни его самого, ни тех, кто имел глупость ему внимать. Однако стопь отдаленные перспективы применительно к микроволновым печам вряд ли заинтересуют читателя. В то же время предсказание ближайшего будущего таит в себе опасность быть уличенным в шарлатанстве. Чтобы избежать подобных обвинений, автор решил сомнительных гипотез не строить, а привести некоторые разработки, которые уже реально существуют, но пока не нашли широкого распространения.

Дальнейшее совершенствование микроволновых печей основано на сочетании микроволн с другими способами обработки продуктов и на более эффективном использовании микроконтроллера. В настоящее время его возможности реализуются в лучшем случае процентов на десять. Фактически микроконтроллер выполняет в основном функцию электронного таймера, с чем до этого прекрасно справлялся и механический таймер. Основное ограничение на эффективное использование микроконтроллера вызвано отсутствием обратной связи при работе печи. Не зная о текущем

состоянии продукта, программа, содержащаяся в ПЗУ, не может полностью обеспечить качественного приготовления, так как она составлена в расчете на определенный состав и вес продукта, которые не всегда точно выдерживаются. Даже температура окружающей среды в какой-то мере может требовать корректировки в режиме приготовления пищи.

Хозяйка, стоящая у плиты, ориентируется не столько на время и потребляемую плитой мощность, сколько на вкус, запах и цвет. Когда мясо на сковороде начнет пригорать, умелая хозяйка снимет его с плиты, даже если по рецепту это требуется сделать только через 10 минут. Таким образом, осуществляется обратная связь в процессе приготовления. Микроволновая печь дыма не чувствует и в аналогичной ситуации будет действовать строго по программе, т.е. до полного испепеления. При этом подразумевается, что сама программа полностью корректна. Но, как гласит один из законов Мэрфи, если бы строители так строили, как некоторые программисты пишут программы, первый же залетевший дятел разрушил бы цивилизацию. Отсюда вывод: для гарантированного качества приготовляемого продукта, требуется наличие датчиков обратной связи.

Разумеется, вкус, запах и цвет у микроконтроллера никаких эмоций вызывать не будут. Более того, не существует и датчиков реагирующих на эти параметры. Однако можно обнаружить косвенные изменения, происходящие в процессе приготовления пищи, которые могут быть преобразованы в электрические сигналы. А с ними микроконтроллер уже способен разобраться основательно. Следует подчеркнуть, что использование косвенных измерений совсем не означает получение сомнительных результатов. Иногда косвенные методы даже более объективны, чем прямые. Вспомните полиграф, или "детектор лжи", состоящий на государственной службе в США. Если какой-нибудь чиновник Госдепартамента, утверждая, что он свою американскую Родину любит больше, чем деньги, провалится на полиграфе, его уволят. Несмотря на ясные и чистые глаза, внушающие доверие начальству. Таким образом, признается, что выводы полиграфа, основанные на измерении косвенных параметров, приближают к истине быстрее, чем анализ путаных ответов на каверзные вопросы проницательных агентов ФБР.

В настоящее время существуют датчики, которые позволяют в процессе приготовления продукта измерять следующие параметры: температуру продукта, температуру в камере, вес продукта, начало парообразования, абсолютную и относительную влажность в камере. Рассмотрим более подробно конструкцию, принцип действия и методы использования каждого из перечисленных датчиков.

### Датчики температуры

Датчики температуры могут быть двух типов: с использованием термопары и с использованием терморезистора. В первом случае измерения основаны на контактной разности потенциалов, возникающей при соединении разных металлов. Физическая природа этого явления состоит в том, что кинетическая энергия электронов в разных металлах различна. Поэтому при соприкосновении разнородных металлов электроны из металла с большей энергией перетекают в металл с меньшей энергией. В результате в первом металле образуется недостаток электронов, и он заряжается положительно, во втором образуется их избыток и он заряжается отрицательно. Контактная разность потенциалов может составлять от сотых долей вольта до нескольких вольт, в зависимости от выбранной пары металлов.

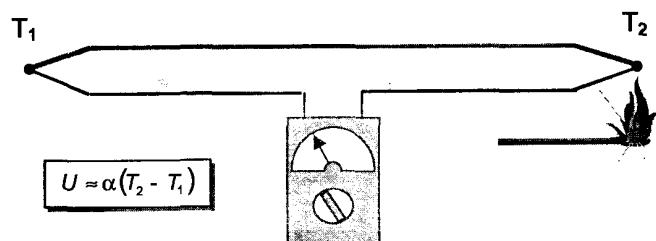


Рис. 2.51. Измерение температуры с помощью термопары

Термопара представляет собой два проводника из специально подбранной пары металлов (например, никель — железо), образующих замкнутую цепь (рис. 2.51).

При различной температуре контактов в замкнутой цепи возникает ток, называемый термоэлектрическим. Если цепь разорвать в произвольном месте, то на концах появится разность потенциалов, пропорциональная разности температур. Для точных измерений необходимо стабилизировать температуру одного из спаев, а второй приложить к измеряемому объекту.

Терморезистор представляет собой полупроводниковый резистор, сопротивление которого зависит от температуры. На рис. 2.52. показана типичная зависимость сопротивления терморезистора от температуры.

Если терморезистор имеет хороший тепловой контакт с измеряемым объектом, то температуру последнего можно определить, измерив сопротивление резистора.

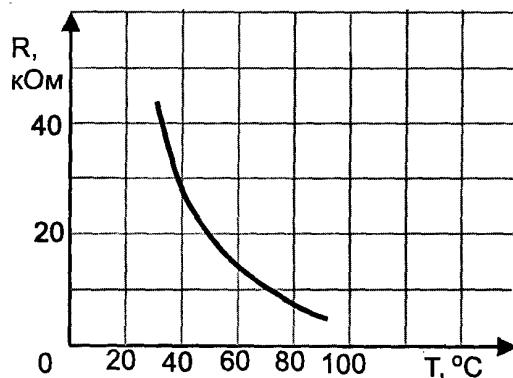


Рис. 2.52. Зависимость сопротивления терморезистора от температуры

Термодатчики используются для измерения температуры в камере и поддержания заданного теплового режима. Обычно они представляют собой металлическую капсулу с двумя выводами, устанавливаемую внутри камеры на одной из ее стенок, причем выводы находятся с внешней стороны камеры. Такая конструкция исключает влияние микроволнового излучения на показания датчика. Имеются термодатчики в виде щупа, втыкаемого непосредственно в приготавливаемый продукт. Это позволяет более точно отслеживать температуру внутри продукта.

#### Датчики веса

Датчик веса автоматически определяет вес продукта, помещенного в камеру, что позволяет микроконтроллеру более точно выбрать требуемый режим приготовления пищи. Наиболее актуально использование датчиков веса в полупромышленных установках для микроволновой сушки, позволяющих точно измерить количество испаренной влаги.

Измерение веса интересовало людей всегда, поэтому со времен построения египетских пирамид и до наших дней создано большое количество соответствующих устройств, использующих разные физические явления. Рассмотрим два способа измерения веса, которые к настоящему времени реально воплощены в производимых печах и установках.

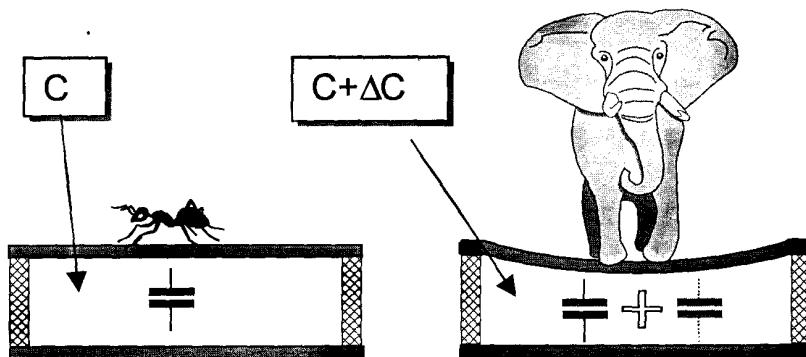


Рис. 2.53. Принцип действия емкостного датчика веса

На рис. 2.53. показан принцип действия емкостного датчика веса. Он выполнен из двух металлических пластин, разделенных изолятором, причем верхняя пластина может быть днищем камеры. Пластины образуют конденсатор, емкость которого измеряется специальной электронной схемой. Продукт, помещаемый в камеру, прогибает ее днище и тем самым увеличивает емкость конденсатора. Программа, содержащаяся в ПЗУ микроконтроллера, позволяет по изменению емкости определить вес помещенного продукта. Конструктивно иногда целесообразнее верхнюю пластину и днище камеры не делать единными, а соединить их с помощью рычажного механизма.

Датчик веса на основе тензорезистивного эффекта показан на рис. 2.54.

Тензорезистивным эффектом называется явление изменения сопротивления полупроводников при одноосной деформации (растяжении или сжатии). Деформация кристаллической решетки полупроводника проявляется в изменении расстояния между атомами. При этом изменяется энергия электронов, часть из них переходит на более высокий энергетический уровень, возрастает число электронов проводимости, увеличивается их подвижность в электрическом поле. Поскольку концентрация свободных электронов в полупроводнике относительно невелика, небольшое ее изменение, вызванное деформацией кристаллической решетки, приводит к заметному изменению электропроводности.

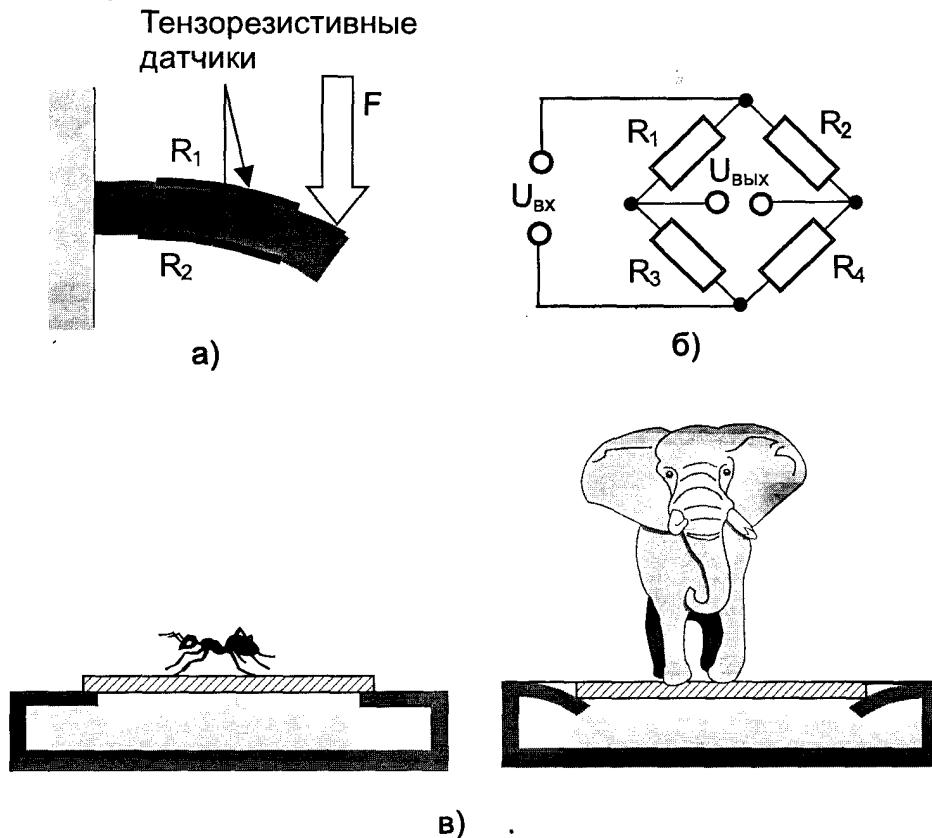


Рис. 2.54. Принцип действия тензорезистивного датчика веса

Конструктивно тензорезистивный датчик представляет собой пленку, на которую в виде тонких полос нанесен полупроводниковый материал. Пленка наклеивается на деталь, подвергаемую изгибу в процессе взвешивания (рис. 2.54а). Поскольку проводимость полупроводников в значительной степени зависит от температуры, то для повышения точности и стабильности показаний тензодатчики включаются по мостовой схеме (рис. 2.54б). При отсутствии измеряемого веса сопротивление каждого из плеч моста одинаково, поэтому выходное напряжение равно нулю. Появление нагрузки приводит к изгибу кронштейнов, на которые наклеены датчики. В результате верхний датчик растягивается, т.е. сопротивление  $R_1$  увеличивается, а нижний датчик сжимается, и, соответственно,  $R_2$  уменьшается. Между пучками моста появляется напряжение  $U_{\text{вых}}$ , зависящее от веса нагрузки. Поскольку температура на оба датчика действует одинаково, то можно считать, что нагрев или охлаждение окружающей среды практически не влияет на значение  $U_{\text{вых}}$ .

#### Датчик пара

Изменение температуры некоторых диэлектриков приводит к их поляризации. Если пластину из такого диэлектрика подвергать нагреву или охлаждению, то на ее противоположных сторонах появляются разноименные заряды. Если на обе стороны пластины нанести электроды и замкнуть их с помощью проводника, то в нем возникнет электрический ток, который будет продолжаться до тех пор, пока не прекратится изменение температуры. Это явление называется пироэлектрическим эффектом. На его использовании основан датчик пара, применяемый в некоторых микроволновых печах.

Конструкция датчика показана на рис. 2.55.

Пироэлектрический материал заключен между двумя электродами и одной стороной прикл  
ен к металлическому основанию с целью повышения механической прочности. Датчик устанавливается на патрубок, через который пар удаляется из печи (рис. 2.56).

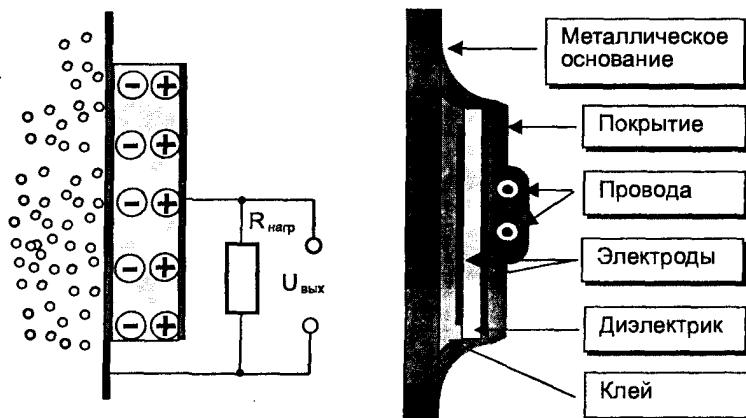


Рис. 2.55. Принцип действия и внутреннее устройство датчика пара

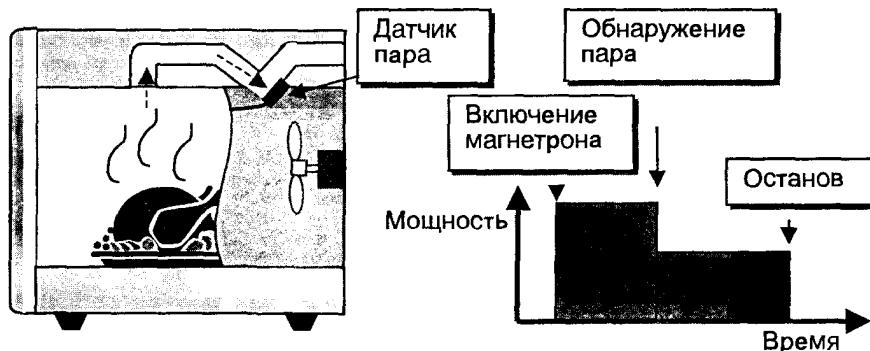


Рис. 2.56. Установка датчика пара в микроволновой печи

В момент начала парообразования будет происходить конденсация пара на относительно холодных деталях патрубка, в результате чего температура установленного на нем датчика резко возрастет. На выводах датчика появится разность потенциалов, которая будет воспринята микроконтроллером. По времени, прошедшему с момента включения магнетрона до начала парообразования, микроконтроллер вычисляет параметры загруженного продукта и определяет время и режим его дальнейшего приготовления. С внешней стороны датчик охлаждается вентилятором, поэтому снижение парового потока приведет к быстрому остыванию датчика, что может быть использовано для корректировки режима.

Применение датчика пара или рассмотренных ниже датчиков влажности позволяет осуществлять автоматическое приготовление пищи, без установки таймера и режима приготовления вручную.

### Датчики влажности

Существуют понятия "абсолютная влажность" и "относительная влажность". Прежде чем приступить к рассмотрению конкретных датчиков, имеет смысл определиться, что есть что.

Термин "относительная влажность" обычно применяется для обозначения уровня влажности в сообщениях о погоде. Он характеризует процентное соотношение между текущим количеством пара в воздухе и его количеством при насыщении, т.е. максимально возможном его количестве при данной температуре.

При насыщении дальнейшее парообразование приводит к конденсации влаги и ее выпадению в виде осадков. Поскольку уровень насыщения зависит от температуры, то и относительная влажность меняется при ее колебаниях.

Абсолютная влажность показывает вес паров воды, содержащихся в одном кубометре воздуха, поэтому ее значение не зависит ни от температуры, ни от чего-либо еще.

С точки зрения приготовления продукта, работа датчиков влажности аналогична рассмотренному ранее датчику пара. Основные отличия состоят в лишь в механизме регистрации пара. Конструкция датчика относительной влажности показана на рис. 2.57.

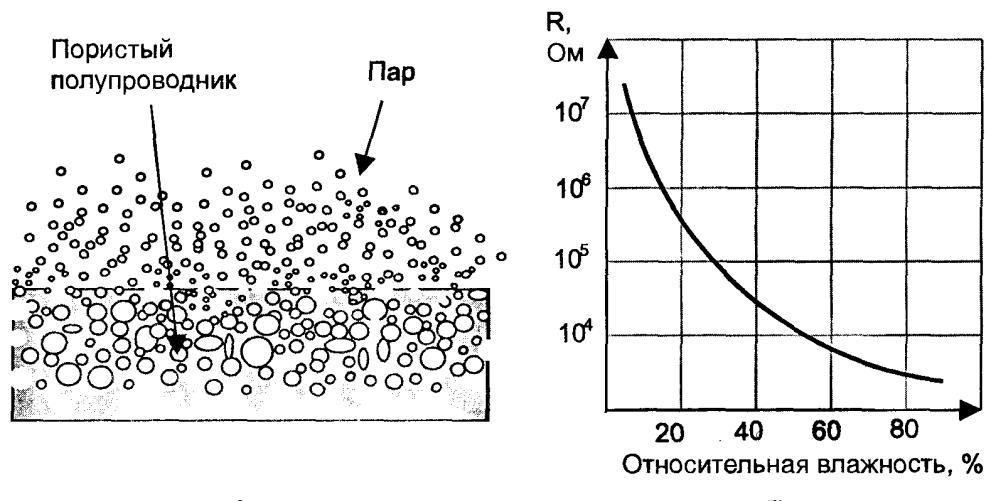


Рис. 2.57. Принцип действия датчика относительной влажности

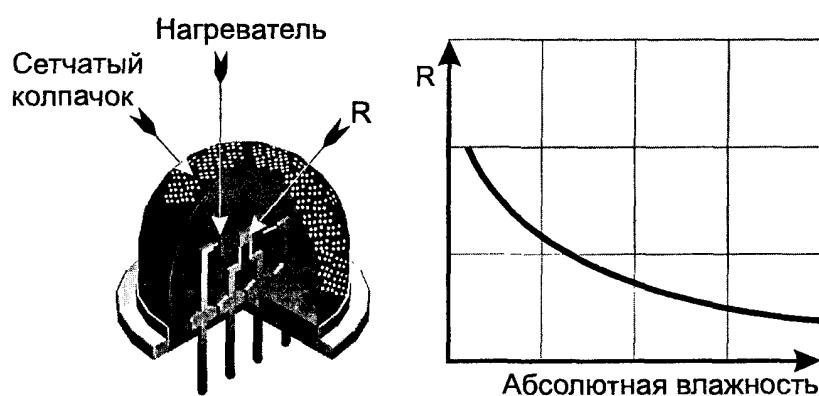


Рис. 2.58. Датчик абсолютной влажности

Чувствительный элемент датчика изготовлен из пористого керамического полупроводника ( $MgCrO_4-TiO_2$ ). При нагреве продукта выделяющийся пар попадает в поры данного материала и изменяет его сопротивление. Повышение точности измерений достигается за счет совместного использования датчиков влажности и температуры. Датчик влажности расположен вблизи вытяжного отверстия, через которое происходит выпуск выделяемого продуктами пара вместе с циркулирующим воздухом. Это означает, что на чувствительный элемент датчика могут попадать брызги пищи, масло, соль и т.п., приводящие к снижению точности измерений. Чтобы не допустить этого, вокруг чувствительного элемента помещается нагревательная катушка, предназначенная для его обжига и очистки. Максимальная температура нагревательной катушки достигает приблизительно  $600^\circ\text{C}$ . Она включается на 30 — 60 секунд перед началом и в конце приготовления пищи.

Устройство датчика абсолютной влажности отличается от предыдущей конструкции наличием нагревателя, на который помещен датчик и сетчатого колпачка, который предохраняет его от загрязнения. Внешний вид датчика абсолютной влажности представлен на рис. 2.58.

Кроме использования датчиков обратной связи, повышение качества приготовления пищи достигается за счет сочетания микроволнового нагрева с другими способами обработки продуктов. В настоящее время наиболее часто микроволны объединяются с грилем и конвектором. Иногда в дополнение к этому используется ультрафиолетовый излучатель, представляющий собой кварце-

вую лампу наподобие той, что применяется для искусственного загара. Загар в данном случае предназначен для микробов, но этот дармовой солярий здоровья им вовсе не прибавляет, а совсем даже наоборот.

Некоторые полупромышленные установки наряду с микроволновым излучением используют частичное вакуумирование. Наиболее эффективно такое сочетание действует при сушке продуктов, поэтому не исключена возможность, что в ближайшем будущем некоторые бытовые печи будут оснащены вакуумными системами.

Принцип действия микроволновых вакуумных сушильных установок основан на зависимости температуры кипения от давления (рис. 2.59).

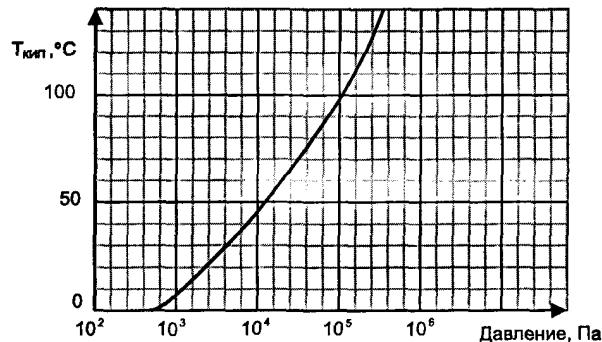


Рис. 2.59. Зависимость температуры кипения воды от давления

При пониженном давлении вода начинает закипать при температуре менее 100°C (для справки: нормальное атмосферное давление на уровне моря примерно равно 10<sup>5</sup> Па). С этим хорошо знакомы жители высокогорий и альпинисты. Можно часами варить мясо в открытом котле, и все равно оно останется наполовину сырьим. Однако при сушке такое поведение воды обладает существенными преимуществами. Для качественной сушки пищевых продуктов их температура не должна превышать 70°C. Лекарственные травы и коренья сушатся при еще более низкой температуре (примерно 40°C). При этом в продуктах сохраняется большинство витаминов, а лекарственные растения не теряют своих лечебных свойств. Если требуется высушивать большое количество продукта, необходимо повышать интенсивность процесса сушки. Для этого существует только один способ — это дополнительный подогрев и вентиляция.

В обычных условиях мощность, затрачиваемая на эти цели, ограничивается опасностью перегрева. Однако при наличии соответствующего вакуума интенсивность сушки практически ничем не ограничена. Пока в продукте присутствует влага, его температура не превысит температуры кипения и подводимая мощность будет расходоваться не на нагрев продукта, а на испарение влаги, т.е. на сушку. Причем из всех существующих способов подвода тепла к продукту использование микроволн наиболее эффективно. Это обусловлено несколькими причинами, главные из которых заключаются в бесконтактном способе передачи тепла, равномерном нагреве продукта со всех сторон, высоком к.п.д. и преимущественном нагреве продукта изнутри. Последнее обстоятельство выгодно отличает микроволновый нагрев от инфракрасного, при котором в первую очередь высыхают поверхностные слои, препятствуя дальнейшей сушке.

Кроме бытовых микроволновых печей микроволновый нагрев применяется во многих отраслях промышленного производства. Наибольшее распространение получили установки, в которых микроволновая энергия используется для сушки различного рода диэлектрических материалов (например, древесины).

Некоторые промышленные и полупромышленные установки, в сущности, мало чем отличаются от обычной микроволновой печи, поскольку состоят из тех же элементов, а увеличение мощности достигается за счет модульной конструкции, при которой вместо одного генератора используется несколько. Имеются установки, в которых одновременно работает несколько десятков магнетронов того же типа, что и в микроволновой печи. Несмотря на то что существуют генераторы СВЧ с выходной мощностью в сотни киловатт, во многих случаях вместо одного такого прибора целесообразнее использовать несколько менее мощных генераторов. Причин этому несколько. Во-первых, это более выгодно с экономической точки зрения. Компоненты для микроволновых печей выпускаются в большом количестве, поэтому их стоимость ниже, а технические характеристики, такие, как к.п.д., долговечность, надежность и т.д., выше. Во-вторых, использова-

ние нескольких генераторов, в общем случае, обеспечивает более равномерный нагрев. В-третьих, снижается вероятность электрических пробоев. Имеются и другие причины, по которым модульный вариант на основе компонентов микроволновой печи оказывается более предпочтительным. Отсюда следует, что при ремонте подобных установок в полной мере могут быть использованы те же методы, что и при ремонте микроволновых печей.

## 2.7. Разборка микроволновой печи

Чтобы добраться до внутренностей микроволновой печи, прежде всего необходимо снять кожух. Для этого нужно отвернуть крепящие его винты, расположенные с тыльной стороны печи и иногда снизу (рис. 2.60).

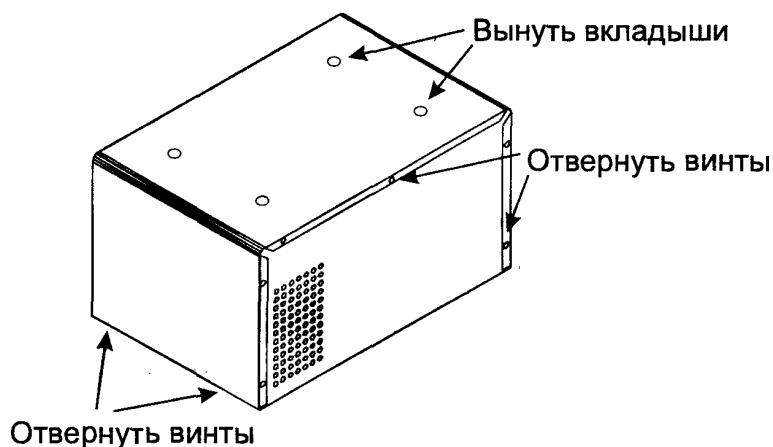


Рис. 2.60. Снятие кожуха микроволновой печи

Некоторые печи предусматривают их крепление в подвесном состоянии. Для этого в кожухе, сверху, имеются специальные отверстия. Чтобы указанные отверстия не портили внешний вид печи в настольном положении, их затыкают пластмассовыми вкладышами. При снятии кожуха вкладыши предварительно нужно вынуть.

Детали микроволновой печи соединены с помощью разъемов, некоторые из которых имеют защелку, повышающую надежность контакта. Чтобы разъединить такой разъем, нужно отжать защелку, нажав на имеющийся выступ.

Чтобы заменить микродвигатель вращения поддона, снятие кожуха не требуется. Для этого нужно предварительно снять крышку с нижней стороны печи. Очень часто такая крышка изготавливается методом штамповки совместно с днищем. Для ее снятия требуется перекусить перемычки, соединяющие указанные детали. После завершения ремонта крышка переворачивается и крепится имеющимся в днище винтом.

При снятии магнетрона предварительно требуется снять воздуховод. В некоторых моделях для этого нужно снять также и трансформатор.

Для снятия блока управления необходимо отсоединить все разъемы и отвернуть крепежные винты. В некоторых печах (например, "Moulinex") часть винтов может находиться с лицевой стороны, под ручками управления или под декоративной пленкой.

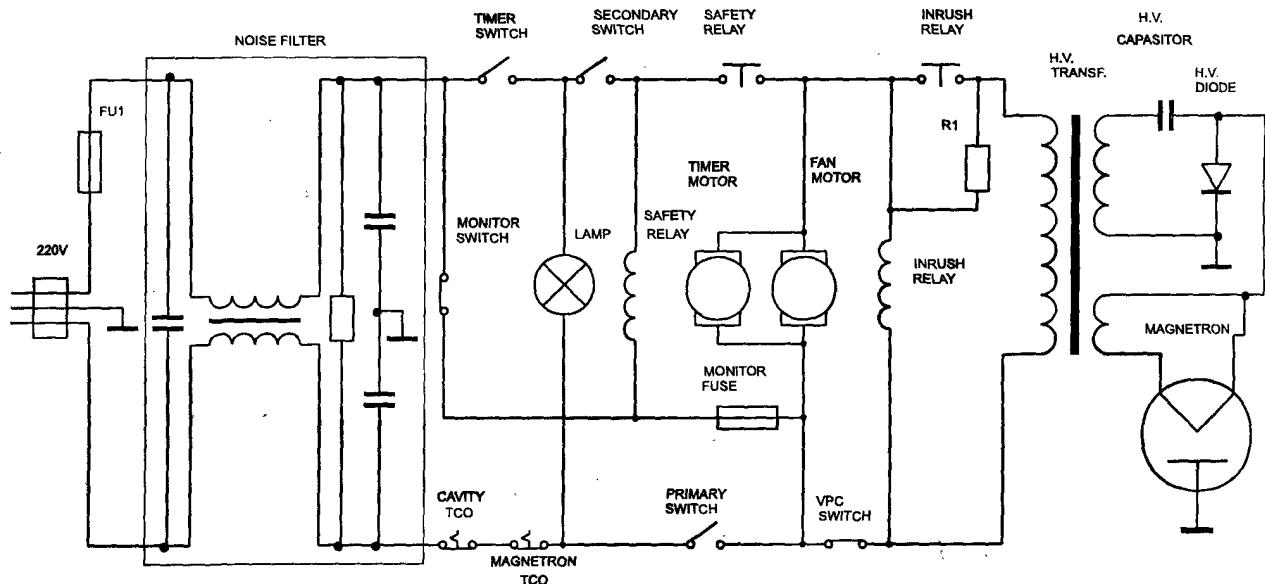
## 2.8. Электрические схемы микроволновых печей

Микроволновые печи с электромеханическим управлением обычно имеют стандартную электрическую схему. Отличия между различными моделями незначительны и не носят принципиального характера.

Силовая часть печей с электронными блоками управления практически не отличается от печей с электромеханическим управлением. На принципиальной схеме эти отличия проявляются лишь в том, что вместо контактов таймера присутствуют контакты реле. Иногда вместо реле ставится симистор, однако режим его работы фактически тот же, что и у таймера. Такая взаимозамене-

няемость блоков управления позволяет, в частности, вдыхать новую жизнь в печи с напрочь сгоревшей электроникой путем замены электронного блока управления на электромеханический или на электронный, но от другой модели. Ограничения на подобную замену связаны, в основном, с габаритными размерами, особенностями крепежа и конструкцией механизма открытия дверцы.

В качестве примера рассмотрим схему микроволновой печи "Samsung RE290D", изображенной на рис. 2.61.



**Рис. 2.61. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи "Samsung RE290D"**

Чтобы включить СВЧ нагрев, требуется подать напряжение 220 В на первичную обмотку высоковольтного трансформатора. Это будет происходить, если контакты микропереключателя "Monitor switch" (MS) разомкнуты, а контакты всех остальных элементов цепи замкнуты. Рассмотрим условия, при которых устанавливается требуемое состояние контактов.

Термореле "cavity TCO" и "magnetron TCO" замкнуты, если температура камеры и магнетрона не превышает допустимой температуры.

Микропереключатели "primary switch" (PS) и "secondary switch" (SS) осуществляют блокировку включения магнетрона при открытой дверце и замыкаются при ее закрытии. На рисунке состояние микропереключателей соответствует открытой дверце.

Включение микроволновой печи происходит при установке ручки таймера на заданное время. При этом замыкаются контакты "timer switch" (TS), находящиеся внутри таймера. На обмотку страховщего реле "safety relay" начинает поступать напряжение, и его контакты замыкаются. В результате включаются электродвигатели таймера и вентилятора, а на трансформатор через сопротивление "resistor" подается напряжение.

Микропереключатель "monitor switch" контролирует исправную работу элементов блокировки дверцы. Если по какой-либо причине микропереключатели PS и SS перестанут размыкаться, то попытка включить пек с открытой дверцей приведет к перегоранию предохранителя "monitor fuse". Вследствие этого включение реле SR станет невозможным, и генерации СВЧ мощности не произойдет. Следует обратить внимание, что для согласованной работы микропереключатель PS должен замыкаться позже, а размыкаться раньше, чем, соответственно, разомкнутся и замкнутся контакты MS. Нарушение этого синхронизма приведет к тому, что контакты PS замкнутся до того, как разомкнется MS, или наоборот, контакты MS замкнутся раньше, чем разомкнется PS. В обоих случаях это приведет к кратковременному короткому замыканию по входу с последующим перегоранием предохранителя. К сожалению, подобный асинхронизм в работе микропереключателей явление нередкое, поэтому, если в микроволновой печи без всяких видимых причин при закрытии или открывании дверцы горят предохранители, проблема, скорее всего, именно в несогласованной работе микропереключателей.

Резистор R1 служит для снижения пускового тока и работает лишь несколько миллисекунд в процессе каждого включения, до тех пор пока не сработает реле "inrush relay", напряжение на ко-

торое подается одновременно с началом прохождения тока через резистор. Необходимость сопротивления вызвана тем, что в начальный момент, высоковольтный конденсатор разряжен и в положительный полупериод, когда на диод подано прямое смещение, вторичная обмотка трансформатора оказывается замкнута "накоротко". В результате, при включении печи, происходит резкий бросок тока и она вздрагивает как от испуга, передавая свое душевное состояние окружающим. Сопротивление позволяет ограничить пусковой ток на некоторое время, в течение которого конденсатор постепенно заряжается до номинального значения и печь плавно входит в рабочий режим. В настоящее время большинство развитых стран имеют стандарты, ограничивающие величину пускового тока, поэтому рассматриваемые элементы становятся обязательным атрибутом микроволновых печей с электромеханическим управлением.

Микропереключатель "VPS switch", установленный на таймере, служит для регулировки мощности. При задании уровня мощности меньше максимального он осуществляет периодическое отключение печи в соответствии с рис. 2.25.

Фильтр "noise filter" служит для снижения радиопомех, проникающих по цепям питания во внешнюю сеть.

Схема содержит также лампу накаливания "lamp" и двигатели таймера "timer motor" и вентилятора "fan motor", назначение которых не требует комментариев.

В зависимости от модели микроволновой печи, она может не иметь каких-либо рассмотренных компонентов или, наоборот, иметь дополнительные (например, при использовании комбинированных способов нагрева), однако это не вносит существенных изменений в работу электрической схемы.

В отличие от силовой части микроволновых печей, схемы электронных блоков управления имеют гораздо большее разнообразие. Особенно отличаются между собой печи, не имеющие специализированного микроконтроллера, построенные на основе дискретных элементов. Это характерно для первых моделей, которые в настоящий момент не выпускаются, но еще имеются в обиходе. В связи с этим не имеет смысла рассматривать какую-либо из схем в качестве примера. Вместо этого рассмотрим работу некоторых наиболее часто встречающихся узлов и связанные с ними неисправности.

Схема начальной установки (рис. 2.62), предназначена для предварительного сброса в "0" ячеек памяти ОЗУ и установки всех имеющихся в схеме триггеров, счетчиков и т.п. в исходное состояние при подаче напряжения на блок управления.

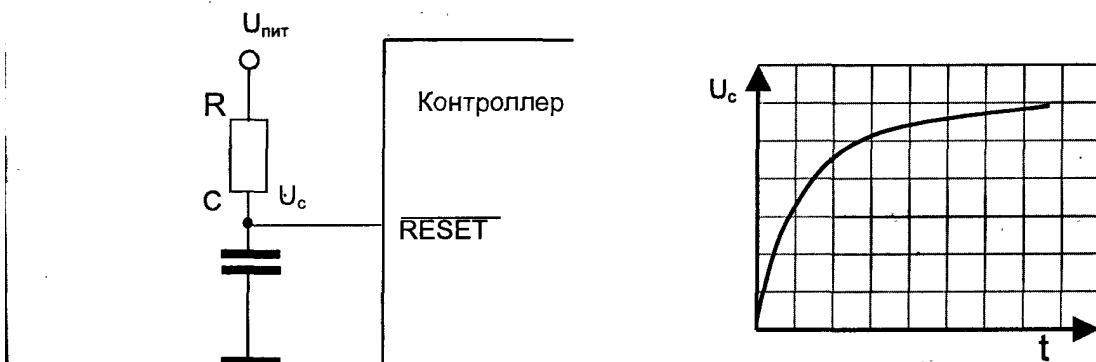


Рис. 2.62. Схема начальной установки

В момент включения микроволновой печи в сеть конденсатор С разряжен, поэтому напряжение на нем равно "0" и на входе "RESET" контроллера поступает сигнал сброса. Через короткий промежуток времени конденсатор зарядится через сопротивление R до напряжения питания, сигнал сброса на входе исчезнет и схема будет готова к дальнейшей работе.

Иногда сигнал сброса формируется не только при включении питания, но и при его снятии. Схема устройства, выполняющего данную функцию, показана на рис. 2.63.

Данная схема производит общий сброс и в том случае, если по какой-либо причине напряжение питания на микроконтроллере превысит допустимое.

Генератор тактовых импульсов, как правило, находится внутри микроконтроллера, за исключением источника опорной частоты, в качестве которого обычно используется кварцевый резона-

тор. Схема его подключения и сигналы на входе (BQ1) и выходе (BQ2) каскада усиления показана на рис. 2.64.

Формирователь сетевых синхроимпульсов предназначен для привязки времени включения выключения силового источника питания к моменту прохождения амплитуды сетевого напряжения через ноль. Это позволяет предотвратить нежелательные выбросы тока в момент коммутации. Схема формирователя представлена на рис. 2.65.

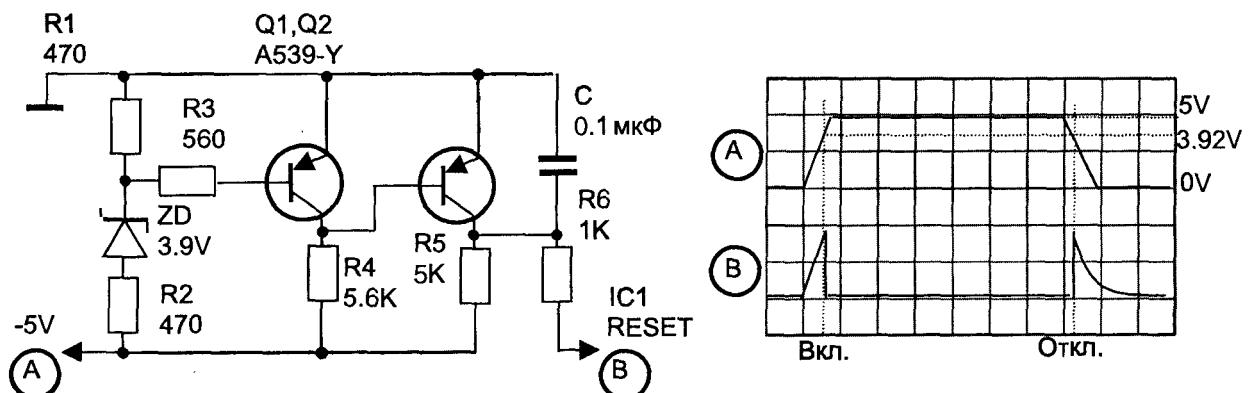


Рис. 2.63. Схема начальной установки и контроля питания

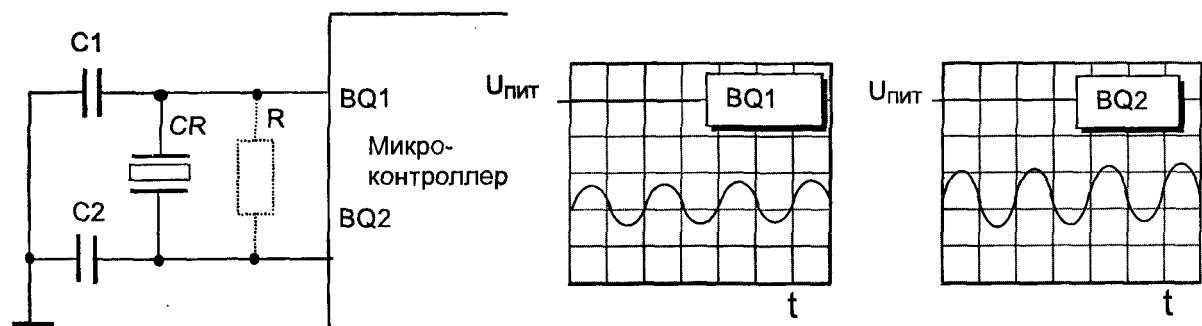


Рис. 2.64. Схема подключения кварцевого резонатора

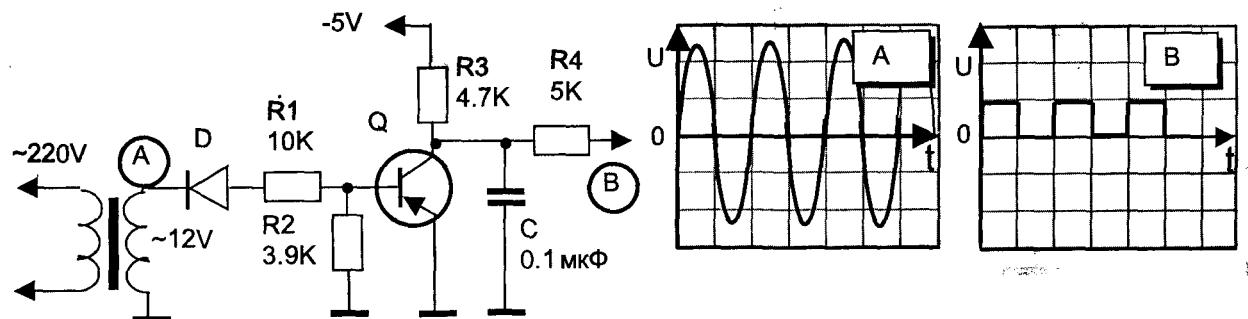


Рис. 2.65. Схема формирователя импульсов

Он представляет собой транзисторный усилитель ключевого типа. В отрицательный полупериод транзистор закрыт и напряжение на выходе равно нулю. В положительный полупериод транзистор быстро входит в насыщение и амплитуда сигнала на выходе становится равной напряжению питания транзистора. Изменение выходного напряжения на выходе усилителя воспринимается микроконтроллером как момент перехода сетевого напряжения через ноль.

Коммутация элементов силовой цепи, как правило, производится посредством реле, установленных на блоке управления. Схема включения реле показана на рис. 2.66.

Особенностью многих схем аналогичного назначения является невозможность включения силовой цепи (реле RY1) без предварительного включения вентилятора (реле RY2) и при открытии

дверце камеры. В рассматриваемом случае это достигается тем, что ток через транзистор Q3, который включает реле RY1, может протекать только при замкнутом микропереключателе "DOOR" и открытом транзисторе Q2, включающем вентилятор, лампу и двигатель столика.

Схема формирования импульсов звуковой частоты предназначена для генерации зуммером звукового сигнала. Во многих случаях эта функция выполняется микроконтроллером с помощью программных средств. Однако в некоторых печах микроконтроллер задает только время звучания сигнала, а генератор звуковой частоты выполнен на дискретных элементах. В качестве примера рассмотрим рис. 2.67.

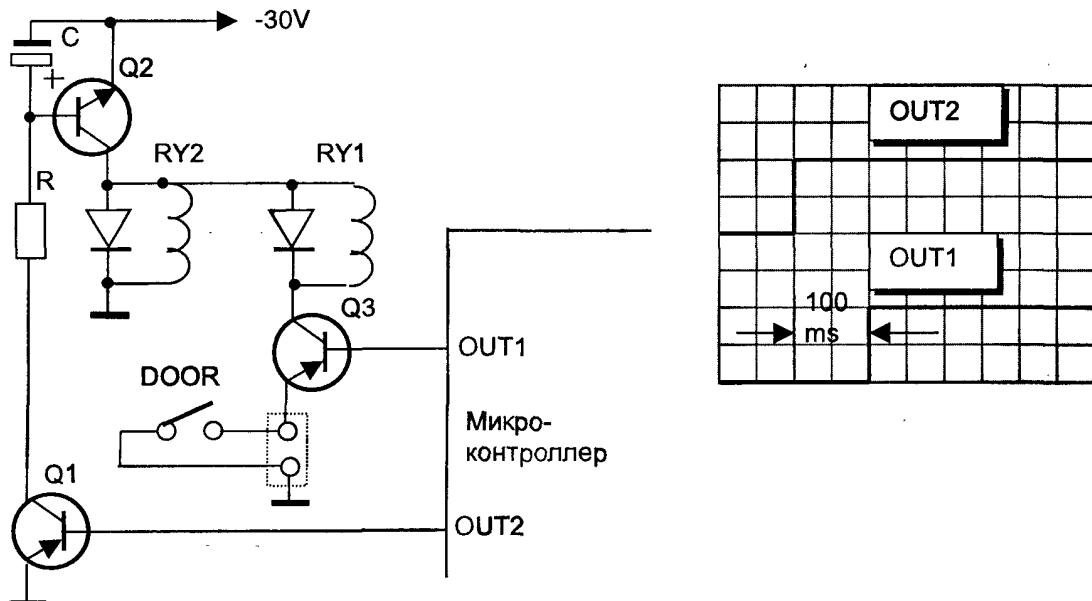


Рис. 2.66. Схема управления включением реле

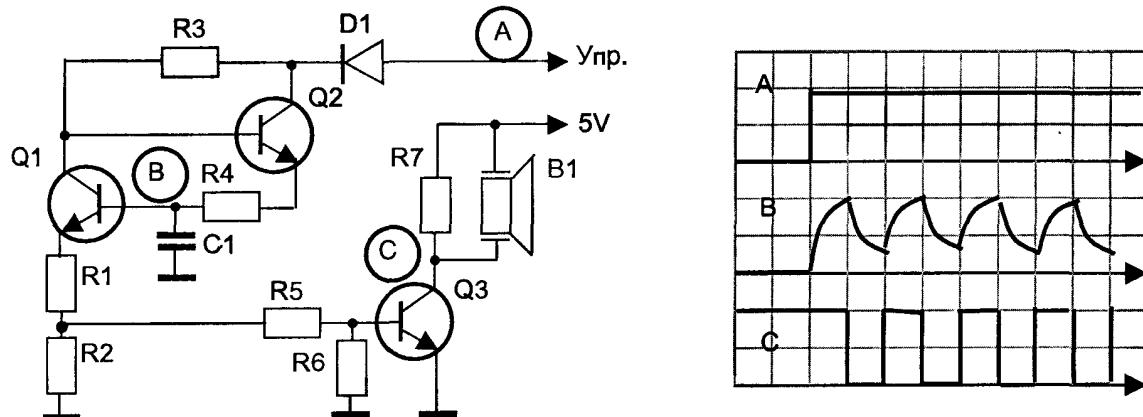


Рис. 2.67. Схема генератора сигнала звуковой частоты

Схема состоит из мультивибратора на транзисторах Q1, Q2 и усилителя на транзисторе Q3. При отсутствии управляющего сигнала все транзисторы закрыты. При поступлении сигнала управления (+5 В) база транзистора Q2 оказывается под высоким потенциалом и он отпирается. Происходит постепенный заряд конденсатора C1 через резистор R4. В какой-то момент напряжение на нем, а соответственно, и на базе транзистора Q1 превысит напряжение отпирания, транзистор Q1 откроется, в результате чего напряжение на базе транзистора Q2 упадет и он закроется. Конденсатор начнет разряжаться через сопротивления R1, R2, пока напряжение на нем не упадет до такого значения, при котором закроется транзистор Q1. После этого весь цикл будет повторяться до тех пор, пока не исчезнет управляющий сигнал. В те моменты, когда открыт транзистор Q1, будет открываться и транзистор Q3, в результате чего на вход зуммера будет поступать переменный сигнал звуковой частоты.

Схема контроля питания (рис. 2.68) производит общий сброс микроконтроллера, в том случае, если питающее напряжение на нем превышает допустимый уровень.

Напряжение стабилизации на стабилитроне чуть меньше напряжения питания, поэтому обычном режиме падение напряжения на резисторе R1 и соответственно на базе транзистора не ставляет доли вольта. Транзистор закрыт, но находится на грани открытия. Прирост напряжения выше номинального полностью падает на резисторе R1, поэтому даже относительно небольшое увеличение напряжения питания, свидетельствующее о неполадках в схеме стабилизации, приведет к быстрому отпиранию транзистора и формированию сигнала сброса.

Подключение клавиатуры осуществляется в мультиплексном режиме (рис. 2.69).

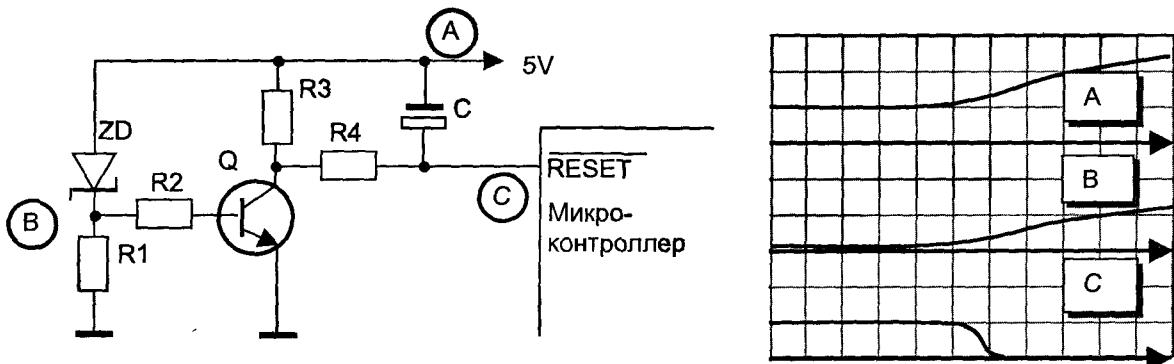


Рис. 2.68. Схема контроля питания

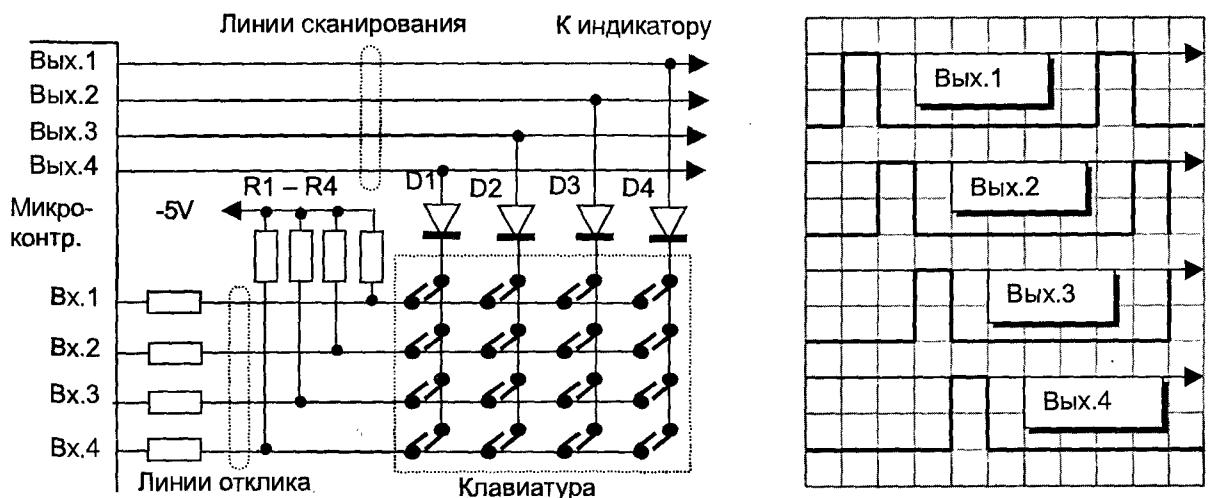


Рис. 2.69. Схема подключения клавиатуры

На линии сканирования от микроконтроллера поочередно поступают короткие импульсы, синхронно смещенные относительно друг друга по времени. При нажатии одной из кнопок последовательность импульсов, проходящих по подключенной к ней линии сканирования, поступает на соответствующую ей линию отклика и возвращается обратно в микроконтроллер, на один из его входов. Номер входа, по которому вернулись импульсы, и время их прибытия позволяют микроконтроллеру однозначно определить, какая из кнопок в данный момент нажата. Поскольку подключение клавиатуры во многом аналогично рассмотренному ранее подключению знакосинтезирующих индикаторов, то в обоих случаях можно использовать одни и те же линии сканирования. Диоды D1 — D4 служат для предотвращения замыкания выходов микроконтроллера при одновременном нажатии нескольких кнопок. Резисторы R1 — R4 фиксируют состояние логического "0", если ни одна из кнопок на данной линии отклика не нажата. В рассматриваемом случае активным является низкий уровень напряжения, поэтому резисторы подключены к шине питания "-5 В".

Источники питания для цепей блока управления, как правило, имеют несколько выходных напряжений. Например, на рис. 2.70 показан источник питания, используемый во многих микроволновых печах компании "Samsung".

В цепи накала люминесцентного индикатора используется переменное напряжение 2.5 В. Анодное напряжение — -31 В создается схемой удвоения на диоде D2 и конденсаторе C2, работа которой аналогична работе силового блока питания. Питание реле и зуммера осуществляется от стабилизированного напряжения -12 В, формируемого выпрямителем на диоде D1, управляемым транзистором Q, источником опорного напряжения на стабилитроне ZD и резисторе R1 и сглаживающими фильтрами на конденсаторах C1 и C3. Дополнительный стабилизатор на интегральной микросхеме IC1 осуществляет питание микроконтроллера. На вход IC1 подается напряжение -12 В, с выхода снимается хорошо стабилизированное напряжение -5 В.

Параллельно первичной обмотке трансформатора иногда включается варистор, полупроводниковый прибор на основе окиси цинка. Назначение варистора состоит в том, чтобы предохранить блок питания от скачков напряжения (которые могут происходить при отключении мощной нагрузки, например магнетрона). Вольт-амперная характеристика варистора напоминает аналогичную характеристику двунаправленного стабилитрона (рис. 2.71).

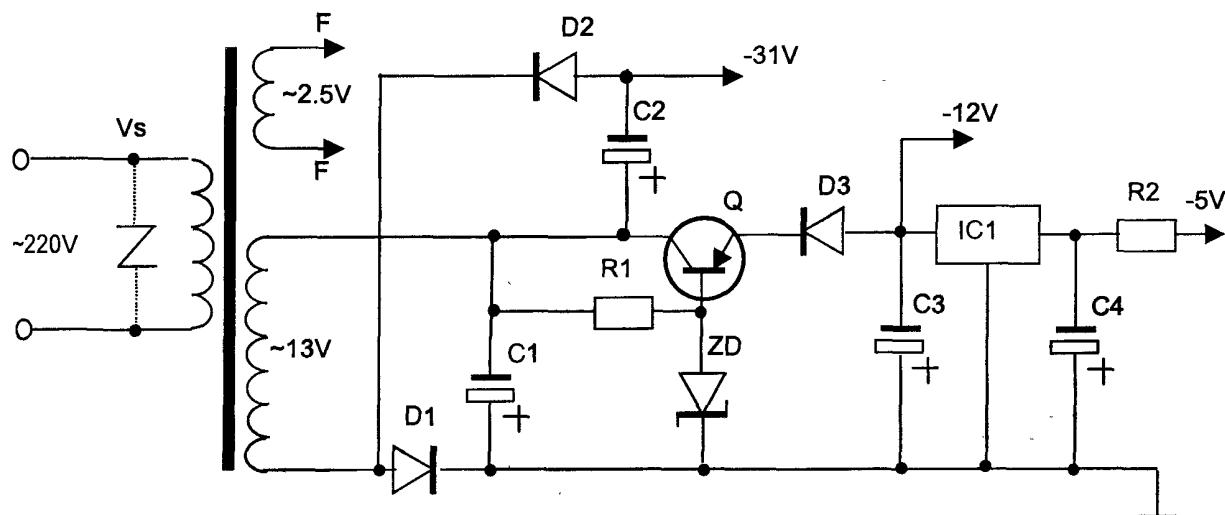


Рис. 2.70. Типовая схема питания блока управления микроволновой печи

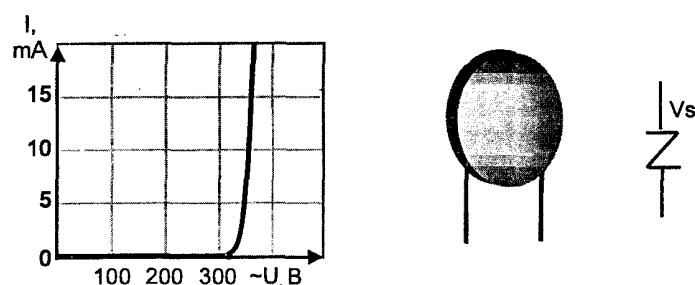


Рис. 2.71. Внешний вид, условное обозначение и вольт-амперная характеристика варистора

Скачок напряжения на входе трансформатора приводит к резкому снижению сопротивления варистора и, как следствие, к выравниванию напряжения. Поскольку при этом через варистор проходит большой ток, то длительное воздействие повышенного напряжения приводит к его перегоранию. При выходе варистора из строя замену ему можно не искать, достаточно выпаять его останки из платы и зачистить обугленные места. С учетом того, что в России повышенное напряжение в сети явление нередкое, в микроволновые печи, поставляемые в нашу страну, варистор, как правило, не ставится.

В некоторых печах (например, "Moulinex") используются бестрансформаторные блоки питания (рис. 2.72).

Вместо трансформатора в данной схеме используется делитель напряжения, основными элементами которого являются конденсаторы C1 и C3 и резистор R2. Сетевое напряжение, выпрямленное диодом D1, делится на перечисленных элементах пропорционально их сопротивлениям.

Реактивное сопротивление конденсатора обратно пропорционально его ёмкости и может быть вычислено по формуле:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

Если частота  $f$  измеряется в герцах, а ёмкость  $C$  в фардах, то размерностью сопротивления  $X_C$  будут омы. По сравнению с обычным резистивным депитепом ёмкостной обладает тем преимуществом, что преобразует напряжение практически без потерь мощности. Диод  $D1$ , помимо основной своей функции, связанной с выпрямлением напряжения, не позволяет разряжаться конденсатору  $C3$ , когда напряжение на нем превышает напряжение на входе. В итоге на конденсаторе  $C3$  накапливается заряд, создающий постоянное напряжение величиной около 30 В. В дальнейшем оно с помощью цепочки стабилитронов преобразуется в ряд стабилизированных напряжений, необходимых для работы блока управления. Резистор  $R1$  служит для разрядки конденсатора  $C1$  после отключения печи из сети. Характерной особенностью аналогичных блоков питания является то, что общая шина связана не с корпусом печи, а с одним из выводов сетевого напряжения. Если в розетке, к которой подключена микроволновая печь, нулевой и фазовый провод перепутаны местами, то все элементы блока управления могут находиться под напряжением 220 В. Это никак не отражается на работе самого блока управления, но требует осторожности при проведении ремонтных работ.

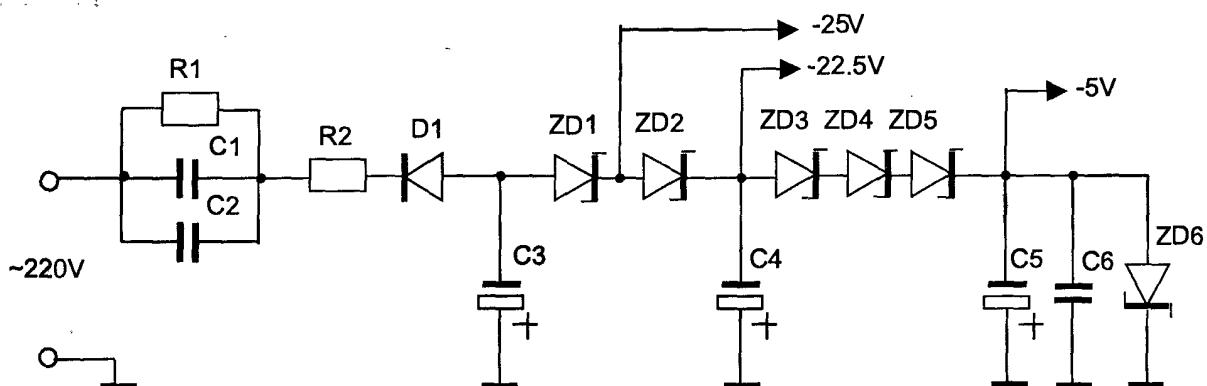


Рис. 2.72. Схема бестрансформаторного блока питания

## 2.9. Возможные неисправности и методы их устранения

### Неисправности микроволновых печей с электромеханическим управлением

Проявление дефекта	Возможная причина неисправности	Методы устранения неисправности
Печь не включается	В одну розетку включено несколько вилок с мощными приборами, что вызывает перегрузку бытовой сети	Отключить другие электроприборы из розетки, к которой подключена печь
	Нет контакта в штекерном разъеме. Поврежден сетевой шнур	Обеспечить плотный контакт между вилкой и розеткой. Проверить сопротивление всех жил сетевого шнура. Если оно отлично от нуля или меняется при изгибе шнура, его необходимо заменить
	Неплотно закрыта дверца камеры	Закрыть дверцу

Проявление дефекта	Возможная причина неисправности	Методы устранения неисправности
	Сломан один из микропереключателей в системе блокировки дверцы	Для проверки микропереключателя необходимо отсоединить его выводы. Проверку производить при отключенном напряжении сети. Неисправный микропереключатель требуется заменить
	Плохо отрегулированы защелки в системе блокировки дверцы	При закрытии дверцы расположенные на ней защелки должны нажимать кнопки микропереключателей до появления характерного щелчка. Для их регулировки требуется отпустить винты, крепящие кронштейн с микропереключателями, и установить его в такое положение, при котором все микропереключатели срабатывают при закрытии дверцы. Поскольку после такой регулировки может измениться зазор между дверцей и камерой, по ее окончании необходимо проверить уровень наружного излучения
	Вышло из строя термореле	Заменить термореле
	Сгорел сетевой предохранитель	Заменить предохранитель
	При установке времени на таймере его контакты не замыкаются	Заменить таймер  Разобрать таймер и устранить неисправность. Вероятно, потребуется зачистить контакты и подогнать одну из ламелей для получения пружинящего контакта.
	Ручка таймера прокручивается на его оси	Заменить ручку  Закрепить ручку с помощью эпоксидного клея или иным способом

Проявление дефекта	Возможная причина неисправности	Методы устранения неисправности
При закрытии или открытии дверцы перегорает сетевой предохранитель	Не синхронизирована работа основного и страхующего микропереключателей	Необходимо отрегулировать работу микропереключателей таким образом, чтобы при закрытии дверцы вначале размыкался страхующий микропереключатель, а затем замыкался основной. При открытии дверцы все должно происходить в обратной последовательности
Печь самопроизвольно отключается, и повторное ее включение возможно только по истечении некоторого времени	В результате перегрева отключилось термореле	Если печь самопроизвольно отключилась во время работы, попробовать включить ее через 15-20 минут после отключения. В случае удачной попытки выяснить, отчего произошел перегрев. Это может быть длительная работа на максимальной мощности, высокая температура окружающей среды, отсутствие вентиляции воздуха и т.д.
Не освещается камера	Перегорела лампа накаливания	Заменить лампу
Не открывается дверца камеры	Сломана нижняя защелка дверцы	Снять кожух и отжать верхнюю защелку. Новую защелку можно изготовить самому, например, из органического стекла. Чтобы снять сломанную защелку нужно предварительно вынуть пластмассовый вкладыш с внутренней стороны дверцы
	Сломан механизм отпирания дверцы	Починить сломанный механизм
При работе печи чувствуется запах гари, не связанный с продуктом	Из-за включения печи при пониженной нагрузке произошел пробой диэлектрика, отделяющего камеру от волновода	Заменить пробитую деталь. Для изготовления новой детали необходимо использовать материалы с низким коэффициентом диэлектрических потерь (см. табл. 1.1)
		Снять пробитую деталь и зачистить обгоревшие места
	Произошел пробой проходного конденсатора в магнетроне	Заменить проходные конденсаторы

Проявление дефекта	Возможная причина неисправности	Методы устранения неисправности
		Возможно включение магнетрона без проходных конденсаторов, если при этом уровень наружного излучения не превышает допустимых пределов. Для этого нужно снять крышку с фильтра магнетрона, удалить пробитые конденсаторы и подпаять накальные выводы трансформатора к катушкам индуктивности фильтра. Провода должны быть хорошо изолированы от корпуса магнетрона
	Витковое замыкание в высоковольтном трансформаторе	Заменить трансформатор. Можно использовать любой трансформатор для микроволновой печи, рассчитанный на ту же мощность
		Заменить вторичную обмотку трансформатора (см. раздел 2.3)
При включении нагрева перегорает сетевой предохранитель	Повышенное напряжение питания в сети	Заменить предохранитель. Включать печь только при номинальном напряжении 220 В±10%
	Печь была включена без необходимой загрузки	Заменить предохранитель. Следить, чтобы загрузка камеры была не менее 200 г влагосодержащих продуктов
	Перегорел фьюз-диод	Заменить фьюз-диод
		Удалить фьюз-диод
	Пробит высоковольтный диод	Заменить диод
	Пробит высоковольтный конденсатор	Заменить конденсатор
	Межвитковой пробой в трансформаторе	Заменить трансформатор. Можно использовать любой трансформатор для микроволновой печи, рассчитанный на ту же мощность
		Заменить вторичную обмотку трансформатора (см. раздел 2.3)

Проявление дефекта	Возможная причина неисправности	Методы устранения неисправности
	Дребезг контакта в цепи питания трансформатора. Наиболее вероятными местами, где возможен нестабильный контакт, являются: реле, разъемы, таймер и микропереключатели	Найти и обезвредить
	Пробит проходной конденсатор на магнетроне	См. выше
	Внутреннее замыкание магнетрона	Заменить магнетрон. Новый магнетрон должен соответствовать старому по выходной мощности, длине антенны, крепежным отверстиям и их ориентации относительно радиатора.
Нет нагрева	Перегорел высоковольтный предохранитель	Некоторые печи имеют дополнительный предохранитель в высоковольтной цепи. Меры по его восстановлению рассмотрены в разделе 2.5.
	Плохой контакт в накальной цепи магнетрона	Разъемы накальной обмотки должны быть плотно посажены на клеммы магнетрона и сниматься с усилием. Слабый разъем можно укрепить, обжав его пассатижами
	Напряжение питания в сети менее 200 В	Включать печь только при номинальном напряжении 220 В±10%
	Вышел из строя магнетрон	Заменить магнетрон. Новый магнетрон должен соответствовать старому по выходной мощности, длине антенны, крепежным отверстиям и их ориентации относительно радиатора
	Сломан микропереключатель в таймере, управляющий режимом нагрева	Заменить микропереключатель
	Не включается промежуточное реле	Проверить напряжение на катушке реле. Если оно в пределах нормы, заменить реле

Проявление дефекта	Возможная причина неисправности	Методы устранения неисправности
Печь работает только в режиме максимальной мощности	Сломан микропереключатель таймера, управляющий режимом нагрева	Заменить микропереключатель
	Не работает таймер	Заменить таймер Возможно "залипание" соответствующих контактов таймера. Для устранения неисправности необходимо разобрать таймер и зачистить контакты
Работа печи сопровождается сильным гулом	Витковое замыкание в высоковольтном трансформаторе	См. выше
	Вторичная обмотка высоковольтного трансформатора не плотно сидит на сердечнике	Обычно такое встречается в старых печах российского производства. УстраниТЬ или уменьшить гул можно, вбив деревянный кинышек между катушкой высоковольтной обмотки и магнитопроводом, чтобы устранить имеющийся люфт
Перегревается корпус микроволновой печи	Не работает или плохо вращается двигатель вентилятора	Заменить двигатель  В большинстве случаев поломки вентилятора происходят из-за механических причин (перекос между ротором и статором, попадание грязи в зазор между ними, попомка подшипников и т.п.). Иногда достаточно разобрать и затем снова собрать вентилятор, чтобы он начал работать как новый
	Лопасти вентилятора прокручиваются на валу	Закрепить лопасти с помощью клея или иным образом
Печь не выключается после отработки установленного времени	Сломана одна из шестерней в редукторе таймера	Заменить таймер
		Можно попробовать починить шестерню, как это показано на рис. 2.10.

<b>Проявление дефекта</b>	<b>Возможная причина неисправности</b>	<b>Методы устранения неисправности</b>
Слабый нагрев продукта	Не работает двигатель таймера	Если на двигатель таймера поступает напряжение 220 В, а он не вращается, таймер необходимо заменить
	Слишком велика загрузка камеры	Увеличить время рабочего цикла
Начальная температура продукта слишком низка	Начальная температура продукта слишком низка	
	Мала эмиссия катода в магнетроне	Заменить магнетрон Добавить полвитка на накалной обмотке трансформатора. Иногда это на несколько лет продлевает срок службы магнетрона
	Напряжение в электрической сети менее 200 В	Включать печь только при номинальном напряжении 220 В±10%
Очень неравномерный нагрев продукта	Не вращается диссектор	Обрыв пассика соединяющего диссектор с двигателем вентилятора Не работает вентилятор (см. выше)
	Не вращается поддон	См. след. пункт
Не вращается поддон	Обрыв обмотки двигателя	Заменить двигатель Перемотать обмотку
	Сломана шестерня в редукторе двигателя	Заменить двигатель Попробовать починить шестерню, как это показано на рис. 2.10.
	Прокручивается муфта на валу двигателя	Заменить муфту
		Для того чтобы починить муфту, на нее прежде всего нужно надеть тонкое металлическое кольцо в том месте, где она насаживается на вал двигателя. Это предохранит ее от распирания. Затем с помощью эпоксидного клея можно закрепить ее на валу

Проявление дефекта	Возможная причина неисправности	Методы устранения неисправности
Поддон вращается с трудом и шумом	Велик вес продукта, или он неравномерно распределен на поддоне	Правильно установить продукт
	Продукт или посуда, в которой он находится, выступает своими краями за площадь вращающегося поддона	
Искрение в камере	Используется посуда с металлизацией	Не использовать металлической посуды или посуды с нанесенным металлическим покрытием
	Пробой диэлектрического окна	См. выше
	Разрушение эмали на дверце камеры, в месте контакта с лицевой поверхностью	Закрасить поврежденные места тонким слоем лака, краски или эмали
	Загрязнение или пробой керамических держателей, фиксирующих инфракрасный излучатель гриля	Очистить керамический держатель от грязи и копоти

#### **Неисправности микроволновых печей с электронным блоком управления**

Все, что было рассмотрено относительно микроволновых печей с электромеханическим управлением, справедливо и для печей с электронным блоком управления (за исключением поломок, связанных с таймером). Кроме этого, существует ряд специфических неисправностей, присущих только печам с электронным блоком. Поскольку имеется широкое разнообразие электронных блоков управления, трудно выделить какие-либо универсальные неисправности, присущие всем печам. Некоторые характерные неисправности приведены в главе 3 при описании соответствующих схем. Ниже приведены лишь наиболее общие и часто встречающиеся неисправности.

Проявление дефекта	Возможная причина неисправности	Методы устранения неисправности
Прегорает сетевой предохранитель	Пробит варистор на плате управления	Удалить варистор. Зачистить обугленные места
	Неисправен трансформатор на плате управления	Заменить трансформатор
Не работает клавиатура	“Залипание” одной из кнопок клавиатуры	См. раздел в тексте посвященный клавиатуре
	Нет стабилизированного напряжения, питающего микроконтроллер	Проверить стабилизатор и схему контроля напряжения
Не работает кнопка “ПУСК”	Нет сигнала с микропереключателя о закрытии дверцы	Проверить соответствующий микропереключатель и поступление сигнала на микроконтроллер
	Неисправен формирователь синхронизирующих импульсов 50 Гц	Проверить формирователь импульсов

Проявление дефекта	Возможная причина неисправности	Методы устранения неисправности
	Нет стабилизированного напряжения, питающего микроконтроллер	Проверить стабилизатор и схему контроля напряжения
Нет индикации	Неисправен трансформатор на плате управления	Заменить трансформатор
	Перегорел предохранитель на плате управления	Проверить схему на короткое замыкание. Заменить предохранитель
	Вышел из строя кварцевый резонатор	Заменить кварцевый резонатор
	Неисправен микроконтроллер	Заменить микроконтроллер
	Нет стабилизированного напряжения, питающего микроконтроллер	Проверить стабилизатор и схему контроля напряжения
Нет нагрева	Неисправно реле на плате управления	Заменить реле
	Неисправен буферный усилитель между микроконтроллером и реле	Проверить буферный усилитель

## 2.10. Меры безопасности при работе с микроволновой печью

Имеются два фактора, представляющих опасность при ремонте микроволновой печи. Это непосредственно микроволновое излучение и высокое напряжение.

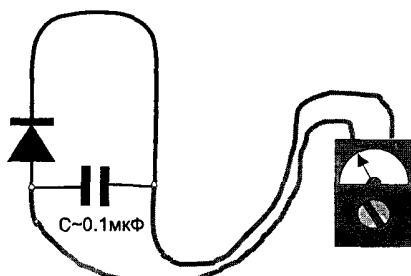
В исправной микроволновой печи уровень излучения не может представлять угрозы для здоровья человека, поскольку оно сосредоточено внутри закрытого объема камеры и конструкция печи не позволяет включить нагрев при открытой дверце. Но тот, у кого нет проблем с печью, вряд ли прочтет эти строки. Поэтому перечислим меры предосторожности, которые требуется выполнять при ее ремонте.

- 1.. Нельзя включать печь при неисправной блокировке дверцы. При выходе из строя одной из блокирующих микропереключателей его необходимо заменить, но ни в коем случае не убирать блокировку, "закорачивая" выводы.
2. Нельзя включать печь со сломанной дверцей или поврежденной сеткой на смотровом окошке.
3. Нельзя делать отверстия в корпусе микроволновой печи, какими бы высокими научными целями это ни мотивировалось.
4. В отверстия камеры, служащие для циркуляции воздуха, нельзя вводить какие бы то ни было токопроводящие предметы (проводы, гвозди, ртутные термометры и т.п.).

При ремонте дверцы, связанном с ее защитными функциями, требуется контролировать уровень наружного излучения. Для этой цели лучше всего воспользоваться промышленно выпускаемыми датчиками излучения. К сожалению, такие датчики относительно редко можно встретить в продаже. Простейший датчик микроволнового излучения можно изготовить самому. Его конструкция представлена на рис. 2.73.

Он состоит из детекторного СВЧ-диода, конденсатора, проволочной петли, выполняющей функцию антенны и охватывающей площадь в несколько квадратных сантиметров, и тестера. Принцип действия такого датчика состоит в следующем: магнитное поле микроволн, пронизывая провод

лочную петлю, будет наводить в ней СВЧ ток, который после детектирования диодом создаст на конденсаторе разность потенциалов. Выпрямленное напряжение на конденсаторе будет пропорционально напряженности магнитного поля в данной точке пространства и может быть измерено с помощью тестера. Чтобы таким устройством можно было проводить измерения, оно должно быть предварительно откалибровано, например, на заведомо исправной микроволновой печи. Точность таких измерений, конечно, невысока, но оценить порядок наружного излучения позволяет.



**Рис. 2.73. Простейшая схема для обнаружения микроволнового излучения**

Особую осторожность следует соблюдать при работе с высоким напряжением. На катоде магнетрона присутствует постоянное напряжение — 4 кВ, вдвое меньшее — на высоковольтном конденсаторе — 2.1 кВ и трансформаторе — ~2.1 кВ. Причем следует обратить внимание, что указанные элементы стоят в силовой части, соответственно мощность высоковольтного источника очень велика (более 1 кВт). В этом состоит принципиальное отличие микроволновой печи, например, от телевизора, в котором хотя и присутствует более высокое напряжение, но ток ограничен. Суровая жизнь иногда требует провести измерения при включенной печи, в том числе и на высоковольтных элементах. Чтобы избежать неприятностей, в том числе с летальным исходом, лучше всего придерживаться двух основных правил.

1. Не прикасаться к внутренним деталям печи во время ее работы. Для проведения измерений на щупы измерительных приборов надеть зажимы типа "крокодил", которыми подключать их к измеряемым участкам цепи перед включением печи.
2. Прежде чем дотронуться до высоковольтных частей руками, даже если печь выключена из сети, желательно замкнуть выводы магнетрона на корпус. Эта предосторожность позволит вам избежать разряда конденсатора через свое тело. Несмотря на то что между выводами конденсатора в микроволновой печи всегда включают специальный резистор, разряжающий его после снятия напряжения (в современных конденсаторах он является составной частью последнего и находится внутри корпуса), тем не менее всегда существует опасность того, что резистор сгорел или его забыли поставить.

Сетевой шнур должен иметь заземляющий вывод. При его отсутствии возможны неисправности, при которых корпус будет находиться под напряжением. Например, если в результате пробоя трансформатора, анодное напряжение замкнется на сетевое, то корпус окажется под напряжением 4 кВ. Случай этот маловероятен, но, как известно, раз в год и незаряженное ружье стреляет.