

# 13. Сетевой источник питания с гасящим конденсатором.

## СЕТЕВОЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ С ГАСЯЩИМ КОНДЕНСАТОРОМ

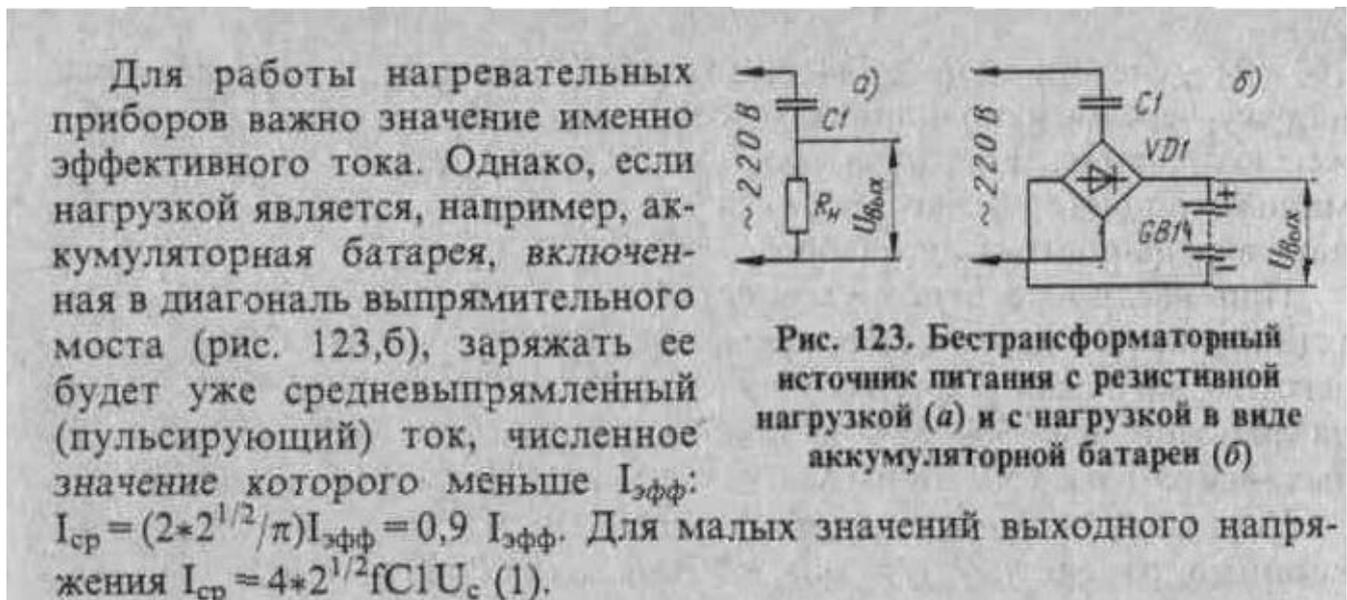
Во многих из описанных выше устройств использовались бестрансформаторные источники питания с гасящим конденсатором. Они удобны своей простотой, малыми габаритами и массой, но не всегда применимы из-за гальванической связи выходной цепи с сетью 220 В. О том, как правильно рассчитать такой источник, рассказывается в данном разделе.

В бестрансформаторном источнике питания к сети переменного напряжения подключены последовательно соединенные конденсатор и нагрузка. Рассмотрим вначале работу источника с чисто резистивной нагрузкой (рис. 123,а).

Из курса электротехники известно, что полное сопротивление последовательно включенных конденсатора  $C_1$  и резистора  $R_n$  равно:  
 $Z = (R_n^2 + X_{C1}^2)^{1/2}$ , где  $X_{C1} = 1/2\pi f C_1$  - емкостное сопротивление конденсатора на частоте  $f$ . Поэтому эффективный переменный ток в цепи  $I_{эфф} = U_c / Z$  ( $U_c$  - напряжение питающей сети). Нагрузочный ток связан с емкостью конденсатора, выходным напряжением источника и напряжением сети следующим соотношением:  
 $I_{эфф} = 2\pi f C (U_c^2 - U_{вых}^2)^{1/2}$ . Для малых значений выходного напряжения  $I_{эфф} = 2\pi f C U_c$ .

В качестве примера, полезного в практике, проведем расчет гасящего конденсатора для включения в сеть 220 В паяльника на 127 В мощностью 40 Вт. Необходимое эффективное значение тока нагрузки  $I_{эфф} = 40/127 = 0,315$  А. Расчетная емкость гасящего конденсатора

$$C_1 = I_{эфф} / [2\pi f (U_c^2 - U_{вых}^2)^{1/2}] = 0,315 / [314(220^2 - 127^2)^{1/2}] = 5,6 \text{ мкФ.}$$



В радиолюбительской практике часто используют источник, в котором гасящий конденсатор включен в сеть последовательно с



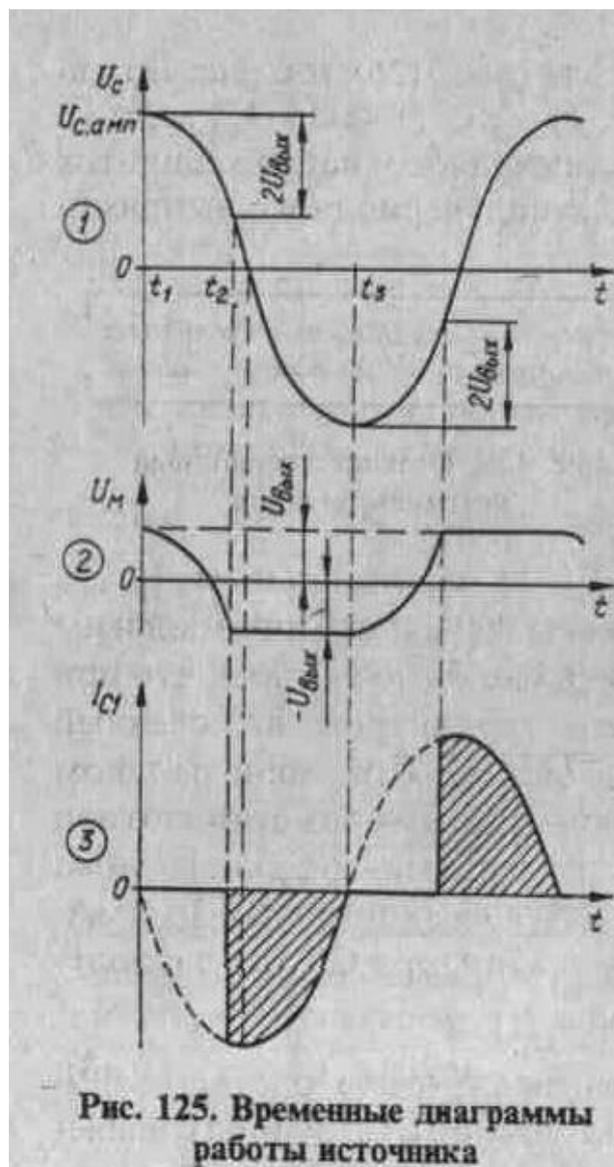
диодным мостом, а нагрузка, зашунтированная другим конденсатором, питается от выходной диагонали моста (рис. 124). В этом случае цепь становится резко нелинейной и форма тока, протекающего через мост и гасящий конденсатор, будет отличаться от

синусоидальной. Из-за этого представленный выше расчет оказывается неверным.

Каковы процессы, происходящие в источнике со сглаживающим конденсатором  $C_2$  емкостью, достаточной для того, чтобы считать пульсации выходного напряжения пренебрежимо малыми? Для гасящего конденсатора  $C_1$  диодный мост (вместе с  $C_2$  и  $R_n$ ) в установившемся режиме представляет собой некий эквивалент симметричного стабилитрона. При напряжении на этом эквиваленте, меньшем некоторого значения (оно практически равно напряжению  $U_{вых}$  на конденсаторе  $C_2$ ), мост закрыт и ток через него не проходит, при большем - через открытый мост течет ток, не давая увеличиваться напряжению на входе моста.

Рассмотрение начнем с момента  $t_1$ , когда напряжение сети максимально (рис. 125). Конденсатор  $C_1$  заряжен до амплитудного напряжения сети  $U_{с.амп}$  за вычетом напряжения на диодном мосте  $U_m$ , примерно равного  $U_{вых}$ . Ток через конденсатор  $C_1$  и закрытый мост равен нулю. Напряжение в сети уменьшается по

косинусоидальному закону (график 1), на мосте также уменьшается (график 2), а напряжение на конденсаторе  $C1$  не меняется.



Ток конденсатора останется нулевым до тех пор, пока напряжение на диодном мосте, сменив знак на противоположный, не достигнет значения  $-U_{\text{вых}}$  (момент  $t_2$ ). В этот момент появится скачком ток  $I_{C1}$  через конденсатор  $C1$  и мост. Начиная с момента  $t_2$ , напряжение на мосте не меняется, а ток определяется скоростью изменения напряжения сети и, следовательно, будет точно таким же, как если бы к сети был подключен только конденсатор  $C1$  (график 3).

Когда напряжение сети достигнет отрицательного амплитудного значения (момент  $t_3$ ), ток через конденсатор  $C1$  снова станет равным нулю. Далее процесс повторяется каждый полупериод.

Ток через мост протекает лишь в интервале времени  $t_2-t_3$ , его среднее значение может быть рассчитано как площадь заштрихованной части

синусоиды на графике 3. Несложные расчеты, требующие, однако, знания дифференциального и интегрального исчисления, дают такую формулу для среднего тока  $I_{\text{ср}}$  через нагрузку  $R_{\text{н}}$ :

$$I_{\text{ср}} = 4fC1(U_{\text{с.амп}} - U_{\text{вых}}) = 4fC1(1,41U_{\text{с}} - U_{\text{вых}}) \quad (2).$$

При малых значениях выходного напряжения эта формула и ранее полученная (1) дают одинаковый результат. Если в (2) выходной ток приравнять к нулю, получим  $U_{\text{вых}} = 1,41U_{\text{с}}$ , т. е. при токе нагрузки, равном нулю (при случайном отключении нагрузки, скажем, из-за ненадежного контакта), выходное напряжение источника становится равным амплитудному напряжению сети. Это означает, что все элементы источника должны выдерживать такое напряжение. При уменьшении тока нагрузки, например, на 10 %, выходное напряжение увеличится так, чтобы выражение в скобках также уменьшилось на 10 %, т. е. примерно на 30 В (при  $U_{\text{вых}} = 10$  В). Вывод - включение стабилитрона параллельно нагрузке  $R_{\text{н}}$  (как показано штриховыми линиями на рис. 124) практически обязательно.

Для однополупериодного выпрямителя (рис. 126) ток рассчитывают по формуле:  $I_{ср} = 2fC1(U_{с.амп} - U_{вых}/2) = 2fC1(1,41U_c - U_{вых}/2)$ .

Естественно, при малых значениях выходного напряжения ток нагрузки будет вдвое меньше, чем для двухполупериодного выпрямителя, а выходное напряжение при нулевом токе нагрузки - вдвое больше - ведь это выпрямитель с удвоением напряжения!

Порядок расчета источников по схеме на рис. 124 следующий. Вначале задаются выходным напряжением  $U_{вых}$ , максимальным  $I_{н\ max}$  и минимальным  $I_{н\ min}$  значениями тока нагрузки, максимальным  $U_{с\ max}$  и минимальным  $U_{с\ min}$  значениями напряжения сети. Выше уже было указано, что при меняющемся токе нагрузки обязателен стабилитрон, включенный параллельно нагрузке  $R_H$ . Как его выбирать? При минимальном напряжении сети и максимальном токе нагрузки через стабилитрон должен протекать ток не менее допустимого минимального тока стабилизации  $I_{ст\ min}$ . Можно задаться значением в пределах 3...5 мА. Теперь определяют емкость гасящего конденсатора  $C1$  для двухполупериодного выпрямителя:

$$C1 = 3,5(I_{ст\ min} + I_{н\ max}) / (U_{с\ min} - 0,7U_{вых}) \quad (3)$$

Формула получена из (2) подстановкой соответствующих значений. Ток в ней - в миллиамперах, напряжение - в вольтах; емкость получится в микрофарадах. Результат расчета округляют до ближайшего большего номинала; можно использовать батарею из нескольких конденсаторов, включенных параллельно.

Далее рассчитывают максимальный ток через стабилитрон при максимальном напряжении сети и минимальном потребляемом от источника токе:

$$I_{ст\ max} = (U_{с\ max} - 0,7U_{вых})C1 / 3,5 - I_{н\ min} \quad (4)$$

При отсутствии стабилитрона на необходимое напряжение  $U_{вых}$ ;

допускающего рассчитанный максимальный ток стабилизации, можно соединить несколько стабилитронов на меньшее напряжение последовательно.

Подставлять в формулу (4) минимальный ток нагрузки  $I_{н\ min}$  следует лишь тогда, когда этот ток длителен - единицы секунд и более. При кратковременном минимальном токе нагрузки (доли секунды) его надо заменить средним (по времени) током нагрузки. Если стабилитрон допускает ток, больший рассчитанного по формуле (4), целесообразно использовать гасящий конденсатор несколько

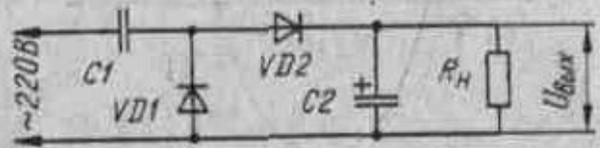


Рис. 126. Однополупериодный источник питания

большой емкости для уменьшения требований к точности его подбора.

При однополупериодной схеме выпрямления (рис. 126) емкость гасящего конденсатора и максимальный ток через стабилитрон рассчитывают по формулам:

$$C1 = 7(I_{ст\ min} + I_{н\ max}) / (U_{с\ min} - 0,35U_{вых});$$

$$I_{ст\ max} = (U_{с\ max} - 0,35U_{вых})C1 / 7 - I_{н\ min}.$$

Рассчитаем в качестве практического примера источник питания по схеме рис. 124 (со стабилитроном, разумеется), обеспечивающий выходное напряжение 9 В при токе нагрузки, изменяющемся от  $I_{н\ max} = 15$  мА до  $I_{н\ min} = 5$  мА; напряжение сети может изменяться от  $U_{с\ max} = 240$  В до  $U_{с\ min} = 200$  В.

Принимаем  $I_{ст\ min} = 5$  мА. По формуле (3) находим емкость гасящего конденсатора:  $C1 = 3,5(5 + 15) / (200 - 0,7 \cdot 9) = 0,361$  мкФ. Выбираем номинальное значение емкости 0,39 мкФ и по формуле (4) проверяем максимальный ток через стабилитрон:  $I_{ст\ max} = (240 - 0,7 \cdot 9)0,39 / 3,5 - 5 = 21$  мА. По справочнику выберем стабилитрон Д814Б, имеющий необходимое напряжение стабилизации.

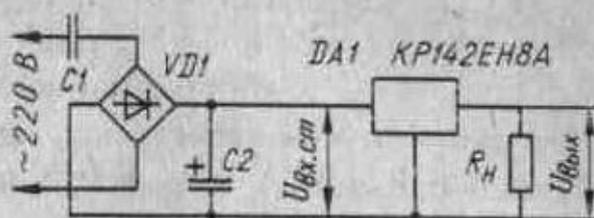


Рис. 127. Типичная ошибка с подключением последовательного стабилизатора напряжения

Рассмотрим здесь типичную ошибку, когда вместо стабилитрона используют последовательный стабилизатор напряжения (рис. 127). Рассчитаем источник при тех же исходных параметрах, но будем считать, что для обеспечения выходного напряжения 9 В напряжение на входе стабилизатора

$U_{вх.ст}$  должно быть не менее 12 В. Ток, потребляемый собственно стабилизатором DA1, будем считать равным:  $I_{потр.} = 10$  мА.

$$C1 = 3,5(I_{потр.} + I_{н\ max}) / (U_{с\ min} - 0,7U_{вых}) = 3,5(10 + 15) / (200 - 0,7 \cdot 12) = 0,457 \text{ мкФ. Выбираем } C1 = 0,47 \text{ мкФ.}$$

При увеличении напряжения сети и уменьшении тока нагрузки входное напряжение стабилизатора  $U_{вх.ст}$  будет, разумеется, увеличиваться. Для его расчета преобразуем формулу (5) к необходимому виду:  $U_{вх.ст\ max} = U_{с\ max} / 0,7 - 5(I_{потр.} + I_{н\ min}) / C1$ . Вычислим  $U_{вх.ст\ max} = 240 / 0,7 - 5(10 + 5) / 0,47 = 183$  В. Такое напряжение, конечно же, не выдержит ни один микросхемный стабилизатор. Итак, стабилитрон необходим и в этом случае.

Для оценки емкости конденсатора C2, обеспечивающей заданную амплитуду пульсаций выходного напряжения, будем считать, что для

источника по схеме рис. 124 зарядка этого конденсатора длится четверть периода напряжения сети, и столько же - разрядка. При таком приближении двойное напряжение пульсации  $2U_{п}$  (размах ) равно:  $2U_{п}=0,25I_{н} \max/fC$ .

Аналогично можно считать, что для источника по схеме рис. 126 зарядка длится то же время, а разрядка - три четверти периода:

$$2U_{п}=0,75I_{н}\max/fC.$$

Для выходного напряжения менее 100 В реально зарядка длится большее время, разрядка - меньшее, и эти выражения дают заметно завышенный результат, поэтому расчет емкости сглаживающего конденсатора по полученным из них формулам обеспечивает некоторый запас:  $C=5I_{н}\max/2U_{п}$  (для рис. 124);  $C=15I_{н}\max/2U_{п}$  (для рис. 126), где ток - в миллиамперах, емкость - в микрофарадах, напряжение - в вольтах.

Хотя стабилитрон и уменьшает напряжение пульсации, использовать сглаживающий конденсатор емкостью, менее рассчитанной, не рекомендуется. В ранее рассмотренном примере при размахе пульсации 0,2 В емкость сглаживающего конденсатора равна:

$$C2=5*15/0,2=375 \text{ мкФ}.$$

Для ограничения броска тока через диоды выпрямительного моста в момент включения источника в сеть последовательно с гасящим конденсатором необходимо включать токоограничивающий резистор. Чем меньше сопротивление этого резистора, тем меньше потери в нем. Для диодного моста КЦ407А или моста из диодов КД103А достаточно резистора сопротивлением 36 Ом.

Рассеиваемую на нем среднюю мощность  $P$  можно определить по формуле:  $P=5,6C1^2R$ , где емкость - в микрофарадах, сопротивление - в омах, мощность - в милливаттах. Для рассмотренного выше примера  $P=5,6*0,39^236=30$  мВт. Для надежности (ведь в момент включения к резистору может быть приложено амплитудное напряжение сети) рекомендуется использовать резистор мощностью не менее 0,5 Вт.

Для того, чтобы исключить возможность поражения электротоком при налаживании устройств с рассматриваемыми источниками, питать их следует не от сети, а от сетевого лабораторного низковольтного блока питания через токоограничительный резистор. Выходное напряжение лабораторного блока устанавливается больше напряжения питания налаживаемого устройства настолько, чтобы ток через токоограничительный резистор был близок к  $I_{ст} \min+I_{н}\max$ .

Иногда удобно использовать в роли токоограничительного резистора источника, ограничивающий бросок тока через диоды выпрямительного моста. В этом случае достаточно замкнуть выводы

гасящего конденсатора проволочной перемычкой. Не забудьте удалить эту перемычку или дополнительный резистор перед включением устройства в сеть!

Интерес представляют также источники питания, в которых гасящий конденсатор включен в цепь первичной обмотки трансформатора. Основное назначение трансформатора - гальванически развязать нагрузку от сети. Стремиться уменьшать коэффициент трансформации не следует, это приведет к необходимости увеличивать емкость гасящего конденсатора. Нет особого смысла и во включении двух стабилитронов до моста вместо одного за мостом, как обычно.

В устройствах для зарядки аккумуляторных батарей такой источник обеспечивает весьма стабильный выходной (зарядный) ток при минимальной габаритной мощности трансформатора и предельной схемной простоте [18]. Формулы для расчета источника отличаются от ранее полученных лишь учетом коэффициента трансформации  $n$  трансформатора ( $C1$  - емкость гасящего конденсатора):

$$I_{\text{ср}} = 4fC1 \ln(U_{\text{с ампл}} - nU_{\text{вых}}) = 4fC1 \ln(1.41U_{\text{с}} - nU_{\text{вых}}).$$

Для зарядного устройства не нужен стабилитрон и сглаживающий конденсатор. Формулу для расчета емкости гасящего конденсатора нетрудно получить из предыдущей:  $C1 = I_{\text{ср}} / 4fn(1.41U_{\text{с}} - nU_{\text{вых}})$ .

Каждому значению выходного напряжения соответствует оптимальное значение коэффициента трансформации  $n_{\text{опт}}$ , при котором емкость гасящего конденсатора минимальна:  $n_{\text{опт}} = 0,7U_{\text{с}} / U_{\text{вых}}$ . При

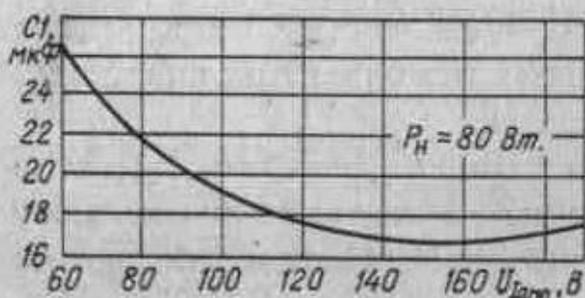


Рис. 128. Зависимость емкости гасящего конденсатора от напряжения на первичной обмотке трансформатора

мощности  $I_{\text{ср}}U_{\text{вых}} = 80 \text{ Вт}$  без учета потерь в трансформаторе:

$$C1 = I_{\text{ср}}U_{\text{вых}} / 4fU_{1 \text{ ампл}}(1.41U_{\text{с}} - U_{1 \text{ ампл}}) = 80 / 200U_{1 \text{ ампл}}(310 - U_{1 \text{ ампл}}).$$

Характер кривой показывает, что расчетное напряжение первичной обмотки трансформатора не критично. Увеличение требуемой емкости гасящего конденсатора при уменьшении этого напряжения от оптимального значения 155 В до, например, стандартного для одного из вариантов включения первичной обмотки серийных

этом амплитудное значение напряжения на первичной обмотке трансформатора (оно имеет форму, показанную на графике 2, рис. 125)  $U_{1 \text{ ампл}} = 0,7U_{\text{с}} = 155 \text{ В}$ .

На рис. 128 представлена зависимость емкости гасящего конденсатора  $C1$  от амплитудного значения напряжения на первичной обмотке трансформатора  $U_{1 \text{ ампл}}$  для получения на вторичной обмотке

трансформаторов ТПП, ТН значения 127 В, не превышает нескольких процентов.

Напомним здесь, что не все конденсаторы могут работать в качестве гасящих. Из опыта автора следует, что конденсаторы К73-16 и К73-17 на рабочее напряжение 250 В и более работают в таких устройствах вполне надежно. Если нужны конденсаторы большой емкости, следует использовать МБГЧ или К42-19 на то же рабочее напряжение или другие конденсаторы на напряжение не менее 500 В.

Если нагрузочный ток рассмотренного выше бестрансформаторного источника меняется, то, как показано выше, параллельно нагрузке необходимо включать стабилизатор, что существенно снижает КПД устройства.

Повысить его можно, если ограничительный конденсатор заменить на конденсаторный делитель [19].

Расчет источника с емкостным делителем несложен. Формула (2) пригодна и здесь, в ней просто надо заменить  $C1$  на суммарную емкость параллельно соединенных конденсаторов  $C1$  и  $C2$ , показанных на рис. 129, а  $U_c$  - на  $U_{c2x}$  (напряжение на конденсаторе  $C2$  в режиме холостого хода, т. е.  $U_{c2x} = U_c C1 / (C1 + C2)$ ). Тогда  $I_{\text{вых}} = 4f(C1 + C2)[1,41 U_c C1 / (C1 + C2) - U_{\text{вых}}]$  или после очевидных преобразований  $I_{\text{вых}} = 4fC1[1,41 U_c - U_{\text{вых}}(1 + C2/C1)]$ .

Поскольку падение напряжения на диодах моста  $U_d$  при малых значениях  $U_{\text{вых}}$  становится заметным, получим окончательно  $I_{\text{вых}} = 4fC1[1,41 U_c - (U_{\text{вых}} + 2U_d)(1 + C2/C1)]$ .

Из формулы видно, что при  $R_H = 0$  (т. е. при  $U_{\text{вых}} = 0$ ) ток  $I_{\text{вых}}$ , если пренебречь падением напряжения на диодах, остается таким же, как у источника питания, собранного по схеме 124. Напряжение же на выходе без нагрузки уменьшается:  $U_{\text{вых.х}} = 1,41 U_c C1 / (C1 + C2) - 2U_d$ .

Емкость и рабочее напряжение конденсатора  $C2$  выбирают исходя из необходимого выходного напряжения - соотношение значений емкости  $C1/C2$  обратно пропорционально значениям падающего на  $C1$  и  $C2$  напряжения. Например, если  $C1 = 1$  мкФ, а  $C2 = 4$  мкФ, то напряжение  $U_{C1}$  будет равно  $4/5$  напряжения сети, а  $U_{C2} = U_c/5$ , что при напряжении сети  $U_c = 220$  В соответствует 186 и 44 В. Необходимо учесть, что амплитудное значение напряжения в 1,4 раза превышает действующее, и выбрать конденсаторы на соответствующее номинальное напряжение.

Ниже представлены две практические схемы источников питания с конденсаторным делителем [19]: пятивольтовый общего назначения

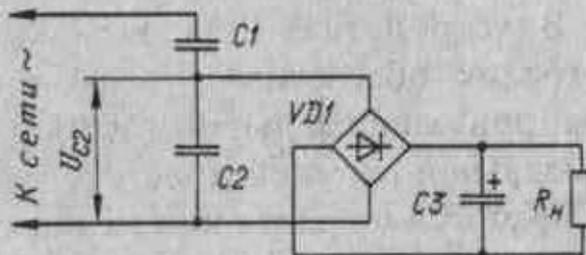


Рис. 129. Источник с емкостным делителем

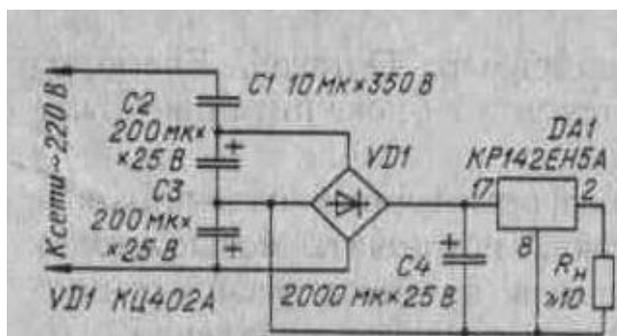


Рис. 130. Бестрансформаторный источник на 5 В

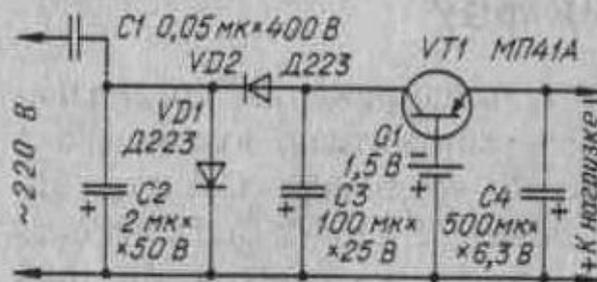


Рис. 131. Источник бесперебойного питания для электронно-механических часов

(рис. 130) на ток нагрузки до 0,3 А и источник бесперебойного питания для электронно-механических часов (рис. 131).

Делитель напряжения пятивольтового источника состоит из бумажного конденсатора С1 и двух оксидных С2 и С3, образующих нижнее по схеме неполярное плечо емкостью 100 мкф. Поляризующими диодами для оксидной пары служат левые по схеме диоды моста. При номиналах элементов, указанных на схеме, ток замыкания (при  $R_n=0$ ) равен 600 мА, напряжение на конденсаторе С4 в отсутствие нагрузки - 27 В.

Электронно-механические часы обычно питают от одного гальва

нического элемента напряжением 1,5 В. Предлагаемый источник вырабатывает напряжение 1,4 В при среднем токе нагрузки 1 мА. Напряжение, снятое с делителя С1С2, выпрямляет узел на элементах VD1, VD2, С3. Без нагрузки напряжение на конденсаторе С3 не превышает 12 В.

Транзистор VT1, включенный эмиттерным повторителем, и гальванический элемент G1 составляют стабилизатор напряжения. На выходе источника будет напряжение элемента минус падение напряжения на эмиттерном переходе транзистора.

Ток, потребляемый от элемента G1 при наличии сетевого напряжения, меньше тока нагрузки в 213 раз, что существенно продлевает срок службы элемента. Практически это означает, что элемент приходится заменять не из-за его разрядки током нагрузки, а вследствие других причин - саморазрядки, высыхания

электролита и т. п.

В случае пропадания напряжения в сети транзистор выходит из режима эмиттерного повторителя и нагрузку питает гальванический элемент G1 через открытый эмиттерный переход. После появления сетевого напряжения транзистор возвращается в режим эмиттерного повторителя и нагрузка переходит на питание от сети. Конденсатор C4 обеспечивает нормальную работу часов при глубокой разрядке элемента G1.

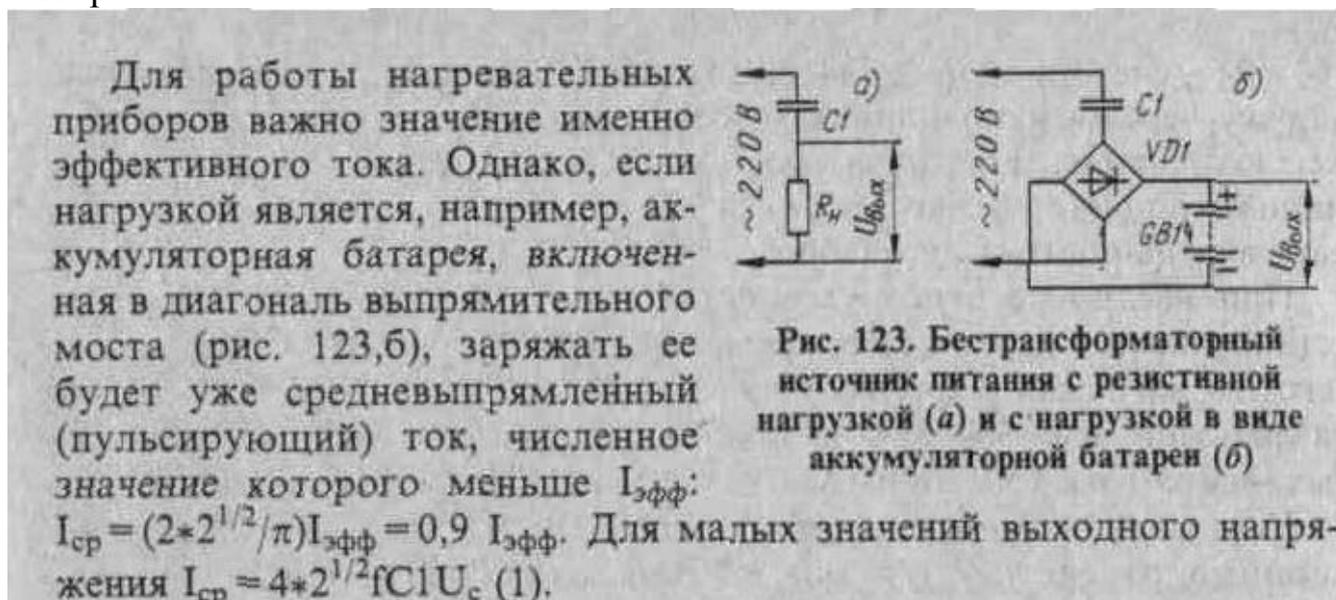
Диоды Д223 можно заменить на любые другие, транзистор МП41А - на любой германиевый структуры p-n-p. Элемент G1

лучше использовать щелочной, например, Duracell, Energizer. Реальный срок эксплуатации такого элемента в блоке питания может достигать 10 лет.

И последнее. Конструкция бестрансформаторных источников и устройств, питающихся от них, должна исключать возможность прикосновения к любым проводникам в процессе эксплуатации. Особое внимание нужно уделить изоляции органов управления.

## Рис. 123 Бестрансформаторный источник питания с резистивной нагрузкой

Изображение:



## Рис. 124 Типовая схема источника

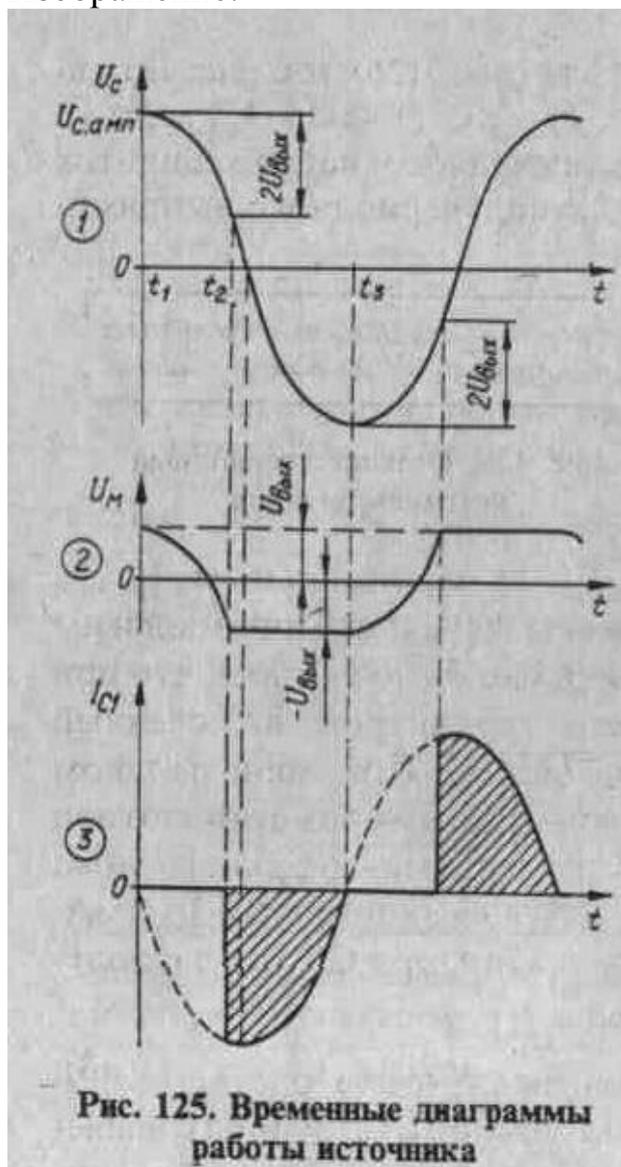
# ПИТАНИЯ С ГАСЯЩИМ КОНДЕНСАТОРОМ

Изображение:



## Рис. 125 Временные диаграммы работы источника

Изображение:



# Рис. 126 Однополупериодный источник питания

Изображение:

Для однополупериодного выпрямителя (рис. 126) ток рассчитывают по формуле:  $I_{ср} = 2fC1(U_{с.амп} - U_{вых}/2) = 2fC1(1,41U_c - U_{вых}/2)$ .

Естественно, при малых значениях выходного напряжения ток нагрузки будет вдвое меньше, чем для двуполупериодного выпрямителя, а выходное напряжение при нулевом токе нагрузки - вдвое больше - ведь это выпрямитель с удвоением напряжения!

Порядок расчета источников по схеме на рис. 124 следующий. Вначале задаются выходным напряжением  $U_{вых}$ , максимальным  $I_{н\ max}$  и минимальным  $I_{н\ min}$  значениями тока нагрузки, максимальным  $U_{с\ max}$  и минимальным  $U_{с\ min}$  значениями напряжения сети. Выше уже было указано, что при меняющемся токе нагрузки обязателен стабилитрон, включенный параллельно нагрузке  $R_{н}$ . Как его выбирать? При минимальном напряжении сети и максимальном токе нагрузки через стабилитрон должен протекать ток не менее допустимого минимального тока стабилизации  $I_{ст\ min}$ . Можно задаться значением в пределах 3...5 мА. Теперь определяют емкость гасящего конденсатора  $C1$  для двуполупериодного выпрямителя:

$$C1 = 3,5(I_{ст\ min} + I_{н\ max}) / (U_{с\ min} - 0,7U_{вых}) \quad (3)$$

Формула получена из (2) подстановкой соответствующих значений. Ток в ней - в миллиамперах, напряжение - в вольтах; емкость получится в микрофарадах. Результат расчета округляют до ближайшего большего номинала; можно использовать батарею из нескольких конденсаторов, включенных параллельно.

Далее рассчитывают максимальный ток через стабилитрон при максимальном напряжении сети и минимальном потребляемом от источника токе:

$$I_{ст\ max} = (U_{с\ max} - 0,7U_{вых})C1/3,5 - I_{н\ min} \quad (4)$$

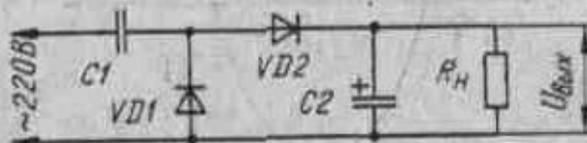


Рис. 126. Однополупериодный источник питания

# Рис. 127 Типичная ошибка с подключением последовательного

# стабилизатора напряжения

Изображение:

большой емкости для уменьшения требований к точности его подбора.

При однополупериодной схеме выпрямления (рис. 126) емкость гасящего конденсатора и максимальный ток через стабилитрон рассчитывают по формулам:

$$C1 = 7(I_{ст\ min} + I_{н\ max}) / (U_{с\ min} - 0,35U_{вых});$$

$$I_{ст\ max} = (U_{с\ max} - 0,35U_{вых})C1/7 - I_{н\ min}.$$

Рассчитаем в качестве практического примера источник питания по схеме рис. 124 (со стабилитроном, разумеется), обеспечивающий выходное напряжение 9 В при токе нагрузки, изменяющемся от  $I_{н\ max} = 15$  мА до  $I_{н\ min} = 5$  мА; напряжение сети может изменяться от  $U_{с\ max} = 240$  В до  $U_{с\ min} = 200$  В.

Принимаем  $I_{ст\ min} = 5$  мА. По формуле (3) находим емкость гасящего конденсатора:  $C1 = 3,5(5 + 15) / (200 - 0,7 \cdot 9) = 0,361$  мкФ. Выбираем номинальное значение емкости 0,39 мкФ и по формуле (4) проверяем максимальный ток через стабилитрон:  $I_{ст\ max} = (240 - 0,7 \cdot 9)0,39 / 3,5 - 5 = 21$  мА. По справочнику выберем стабилитрон Д814Б, имеющий необходимое напряжение стабилизации.

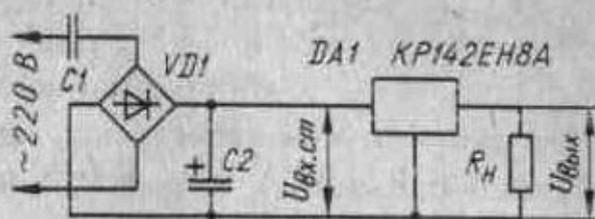


Рис. 127. Типичная ошибка с подключением последовательного стабилизатора напряжения

Рассмотрим здесь типичную ошибку, когда вместо стабилитрона используют последовательный стабилизатор напряжения (рис. 127). Рассчитаем источник при тех же исходных параметрах, но будем считать, что для обеспечения выходного напряжения 9 В напряжение на входе стабилизатора

$U_{вх.ст}$  должно быть не менее 12 В. Ток, потребляемый собственно стабилизатором DA1, будем считать равным:  $I_{стпр} = 10$  мА.

$$C1 = 3,5(I_{пот} + I_{н\ max}) / (U_{с\ min} - 0,7U_{вых}) = 3,5(10 + 15) / (200 - 0,7 \cdot 12) = 0,457 \text{ мкФ. Выбираем } C1 = 0,47 \text{ мкФ.}$$

При увеличении напряжения сети и уменьшении тока нагрузки входное напряжение стабилизатора  $U_{вх.ст}$  будет, разумеется, увеличиваться. Для его расчета преобразуем формулу (5) к необходимому виду:  $U_{вх.ст\ max} = U_{с\ max} / 0,7 - 5(I_{пот} + I_{н\ min}) / C1$ . Вычислим  $U_{вх.ст\ max} = 240 / 0,7 - 5(10 + 5) / 0,47 = 183$  В. Такое напряжение, конечно же, не выдержит ни один микросхемный стабилизатор. Итак, стабилитрон необходим и в этом случае.

Для оценки емкости конденсатора C2, обеспечивающей заданную амплитуду пульсаций выходного напряжения, будем считать, что для

# **Рис. 128 Зависимость емкости гасящего конденсатора от напряжения на первичной обмотке трансформатора**

Изображение:

гасящего конденсатора проволочной перемычкой. Не забудьте удалить эту перемычку или дополнительный резистор перед включением устройства в сеть!

Интерес представляют также источники питания, в которых гасящий конденсатор включен в цепь первичной обмотки трансформатора. Основное назначение трансформатора - гальванически развязать нагрузку от сети. Стремиться уменьшать коэффициент трансформации не следует, это приведет к необходимости увеличивать емкость гасящего конденсатора. Нет особого смысла и во включении двух стабилитронов до моста вместо одного за мостом, как обычно.

В устройствах для зарядки аккумуляторных батарей такой источник обеспечивает весьма стабильный выходной (зарядный) ток при минимальной габаритной мощности трансформатора и предельной схемной простоте [18]. Формулы для расчета источника отличаются от ранее полученных лишь учетом коэффициента трансформации  $n$  трансформатора ( $C1$  - емкость гасящего конденсатора):

$$I_{\text{ср}} = 4fC1n(U_{\text{с ампл}} - nU_{\text{вых}}) = 4fC1n(1,41U_{\text{с}} - nU_{\text{вых}}).$$

Для зарядного устройства не нужен стабилитрон и сглаживающий конденсатор. Формулу для расчета емкости гасящего конденсатора нетрудно получить из предыдущей:  $C1 = I_{\text{ср}} / 4fn(1,41U_{\text{с}} - nU_{\text{вых}})$ .

Каждому значению выходного напряжения соответствует оптимальное значение коэффициента трансформации  $n_{\text{опт}}$ , при котором емкость гасящего конденсатора минимальна:  $n_{\text{опт}} = 0,7U_{\text{с}} / U_{\text{вых}}$ . При

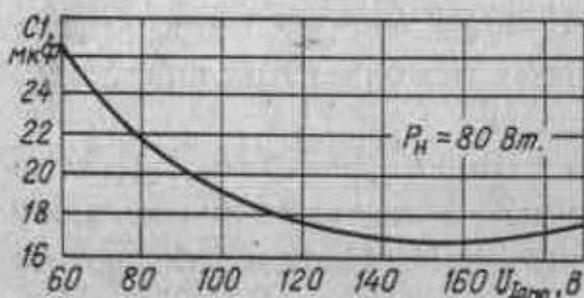


Рис. 128. Зависимость емкости гасящего конденсатора от напряжения на первичной обмотке трансформатора

мощности  $I_{\text{ср}}U_{\text{вых}} = 80 \text{ Вт}$  без учета потерь в трансформаторе:

$$C1 = I_{\text{ср}}U_{\text{вых}} / 4fU_{1 \text{ ампл}}(1,41U_{\text{с}} - U_{1 \text{ ампл}}) = 80 / 200U_{1 \text{ ампл}}(310 - U_{1 \text{ ампл}}).$$

Характер кривой показывает, что расчетное напряжение первичной обмотки трансформатора не критично. Увеличение требуемой емкости гасящего конденсатора при уменьшении этого напряжения от оптимального значения 155 В до, например, стандартного для одного из вариантов включения первичной обмотки серийных

этом амплитудное значение напряжения на первичной обмотке трансформатора (оно имеет форму, показанную на графике 2, рис. 125)  $U_{1 \text{ ампл}} = 0,7U_{\text{с}} = 155 \text{ В}$ .

На рис. 128 представлена зависимость емкости гасящего конденсатора  $C1$  от амплитудного значения напряжения на первичной обмотке трансформатора  $U_{1 \text{ ампл}}$  для получения на вторичной обмотке

# **Рис. 129 Источник с емкостным делителем**

Изображение:

трансформаторов ТПП, ТН значения 127 В, не превышает нескольких процентов.

Напомним здесь, что не все конденсаторы могут работать в качестве гасящих. Из опыта автора следует, что конденсаторы К73-16 и К73-17 на рабочее напряжение 250 В и более работают в таких устройствах вполне надежно. Если нужны конденсаторы большой емкости, следует использовать МБГЧ или К42-19 на то же рабочее напряжение или другие конденсаторы на напряжение не менее 500 В.

Если нагрузочный ток рассмотренного выше бестрансформаторного источника меняется, то, как показано выше, параллельно нагрузке необходимо включать стабилизатор, что существенно снижает КПД устройства.

Повысить его можно, если ограничительный конденсатор заменить на конденсаторный делитель [19].

Расчет источника с емкостным делителем несложен. Формула (2)

пригодна и здесь, в ней просто надо заменить  $C1$  на суммарную емкость параллельно соединенных конденсаторов  $C1$  и  $C2$ , показанных на рис. 129, а  $U_c$  - на  $U_{c2x}$  (напряжение на конденсаторе  $C2$  в режиме холостого хода, т. е.  $U_{c2x} = U_c C1 / (C1 + C2)$ ). Тогда  $I_{\text{вых}} = 4f(C1 + C2)[1,41U_c C1 / (C1 + C2) - U_{\text{вых}}]$  или после очевидных преобразований  $I_{\text{вых}} = 4fC1[1,41U_c - U_{\text{вых}}(1 + C2/C1)]$ .

Поскольку падение напряжения на диодах моста  $U_d$  при малых значениях  $U_{\text{вых}}$  становится заметным, получим окончательно  $I_{\text{вых}} = 4fC1[1,41U_c - (U_{\text{вых}} + 2U_d)(1 + C2/C1)]$ .

Из формулы видно, что при  $R_H = 0$  (т. е. при  $U_{\text{вых}} = 0$ ) ток  $I_{\text{вых}}$ , если пренебречь падением напряжения на диодах, остается таким же, как у источника питания, собранного по схеме 124. Напряжение же на выходе без нагрузки уменьшается:  $U_{\text{вых.х}} = 1,41U_c C1 / (C1 + C2) - 2U_d$ .

Емкость и рабочее напряжение конденсатора  $C2$  выбирают исходя из необходимого выходного напряжения - соотношение значений емкости  $C1/C2$  обратно пропорционально значениям падающего на  $C1$  и  $C2$  напряжения. Например, если  $C1 = 1$  мкФ, а  $C2 = 4$  мкФ, то напряжение  $U_{C1}$  будет равно  $4/5$  напряжения сети, а  $U_{C2} = U_c/5$ , что при напряжении сети  $U_c = 220$  В соответствует 186 и 44 В. Необходимо учесть, что амплитудное значение напряжения в 1,4 раза превышает действующее, и выбрать конденсаторы на соответствующее номинальное напряжение.

Ниже представлены две практические схемы источников питания с конденсаторным делителем [19]: пятивольтовый общего назначения

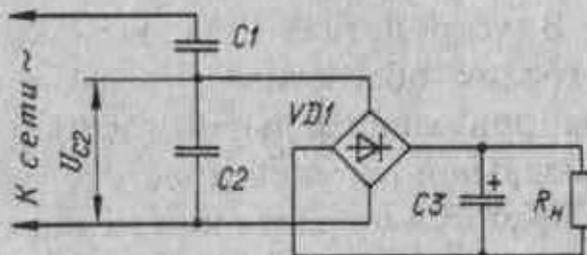


Рис. 129. Источник с емкостным делителем

# Рис. 130 Бестрансформаторный источник питания на 5В

Изображение:

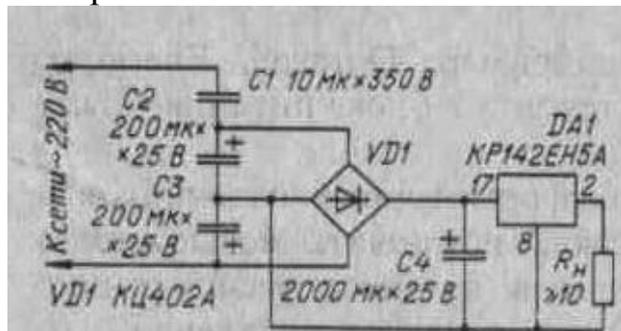


Рис. 130. Бестрансформаторный источник на 5 В

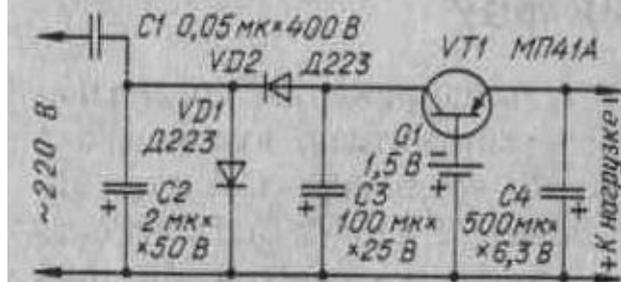


Рис. 131. Источник бесперебойного питания для электронно-механических часов

## Ф.1 Расчетная формула гасящего конденсатора

Изображение:

Из курса электротехники известно, что полное сопротивление последовательно включенных конденсатора  $C1$  и резистора  $R_n$  равно:  
 $Z = (R_n^2 + X_{C1}^2)^{1/2}$ , где  $X_{C1} = 1/2\pi f C1$  - емкостное сопротивление конденсатора на частоте  $f$ . Поэтому эффективный переменный ток в цепи  $I_{эфф} = U_c / Z$  ( $U_c$  - напряжение питающей сети). Нагрузочный ток связан с емкостью конденсатора, выходным напряжением источника и напряжением сети следующим соотношением:

$I_{эфф} = 2\pi f C (U_c^2 - U_{вых}^2)^{1/2}$ . Для малых значений выходного напряжения  $I_{эфф} = 2\pi f C U_c$ .

В качестве примера, полезного в практике, проведем расчет гасящего конденсатора для включения в сеть 220 В паяльника на 127 В мощностью 40 Вт. Необходимое эффективное значение тока нагрузки  $I_{эфф} = 40/127 = 0,315$  А. Расчетная емкость гасящего конденсатора

$$C1 = I_{эфф} / [2\pi f (U_c^2 - U_{вых}^2)^{1/2}] = 0,315 / [314(220^2 - 127^2)^{1/2}] = 5,6 \text{ мкФ.}$$

## Ф.2 Расчет среднего тока через нагрузку

Изображение:

синусоиды на графике 3. Несложные расчеты, требующие, однако, знания дифференциального и интегрального исчисления, дают такую формулу для среднего тока  $I_{ср}$  через нагрузку  $R_n$ :

$$I_{ср} = 4f C1 (U_{с.амп} - U_{вых}) = 4f C1 (1,41 U_c - U_{вых}) \quad (2).$$

При малых значениях выходного напряжения эта формула и ранее полученная (1) дают одинаковый результат. Если в (2) выходной ток приравнять к нулю, получим  $U_{вых} = 1,41 U_c$ , т. е. при токе нагрузки, равном нулю (при случайном отключении нагрузки, скажем, из-за ненадежного контакта), выходное напряжение источника становится равным амплитудному напряжению сети. Это означает, что все элементы источника должны выдерживать такое напряжение. При уменьшении тока нагрузки, например, на 10 %, выходное напряжение увеличится так, чтобы выражение в скобках также уменьшилось на 10 %, т. е. примерно на 30 В (при  $U_{вых} = 10$  В). Вывод - включение стабилитрона параллельно нагрузке  $R_n$  (как показано штриховыми линиями на рис. 124) практически обязательно.