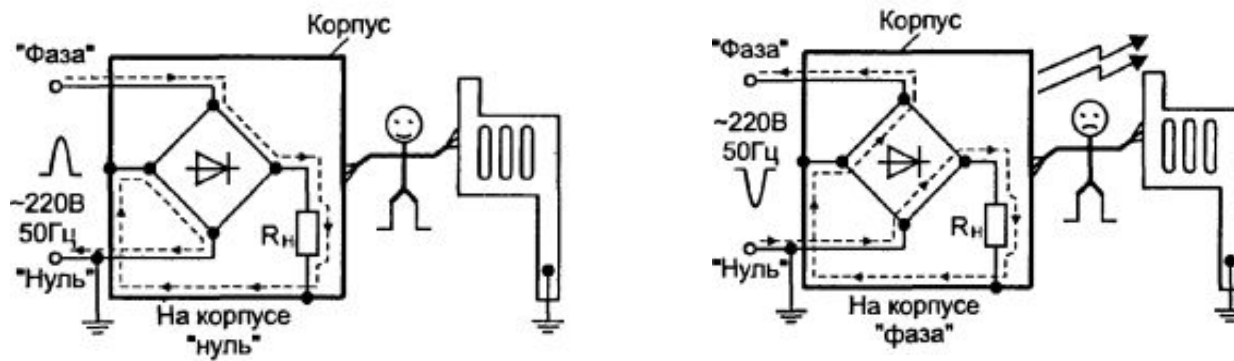


## Зачем нужна гальваническая развязка.

Радиоэлектронные приборы принято проектировать таким образом, чтобы общий «земляной» провод подключался к шасси прибора, если она выполнена из металла. Нередко металлический корпус прибора также не изолируется. С другой стороны водопроводные трубы, батареи центрального отопления и т.д. принято заземлять. Заземляют так же трубы, в которых прокладывают электрические кабели. Один из контактов сетевой однофазной бытовой розетки всегда является «нулевым», другой - всегда «фазным».



Как видно из рисунка в случае попадания одного из основных проводников схемы на корпус прибора последний может приобретать фазный потенциал.

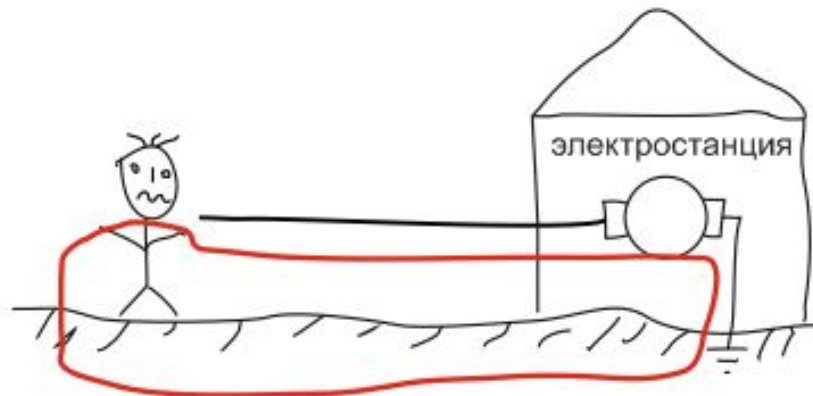
Коснувшись батарей центрального отопления и корпуса прибора человек окажется под напряжением 220 вольт.

Чтобы не возникало таких опасных для жизни ситуациях приборы должны быть гальванически развязаны - не иметь общих проводников. Единственным возможным выходом в данном случае является использование трансформатора с независимыми первичными и вторичными обмотками.

## Гальванической развязки

**нет.**

При пробое на корпус цепь протекания тока выглядит так.

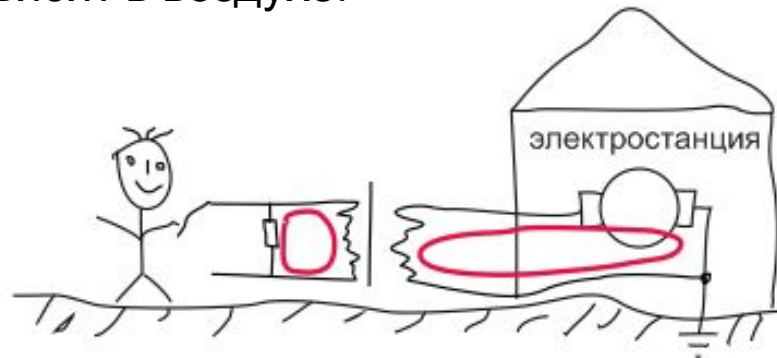


При прикосновении к «фазовому» проводу сети тока утечки тапочек вполне хватит, чтобы почувствовать «удар». Если тапочки сухие, то такой «удар» безвреден. Но, если вы стоять босиком на влажном полу, последствия могут быть весьма плачевными.

## Гальваническая развязка

**есть.**

Если прикоснуться к одному из выводов трансформатора, то ток не потечет — ему просто некуда течь, ведь второй вывод трансформатора висит в воздухе.

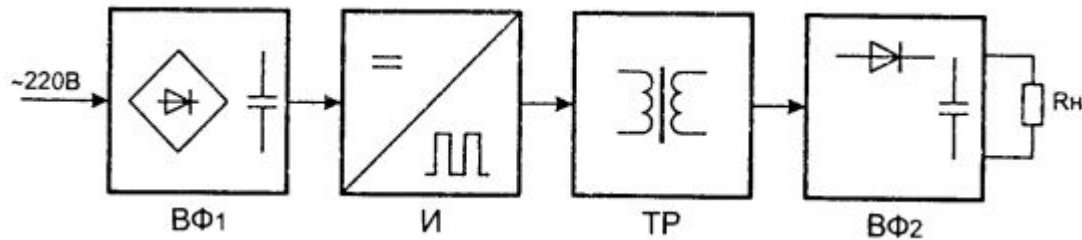


Если, конечно, схватиться за оба вывода трансформатора, то током ударит.

**Трансформатор обеспечивает гальваническую развязку.**

## Общие сведения.

Как известно повышением рабочей частоты габаритная мощность трансформатора увеличивается, это значит, что при сохранении мощности можно, повысить частоту преобразования, существенно снизить габаритные размеры трансформатора. Типовая схема источника питания с гальванической развязкой и



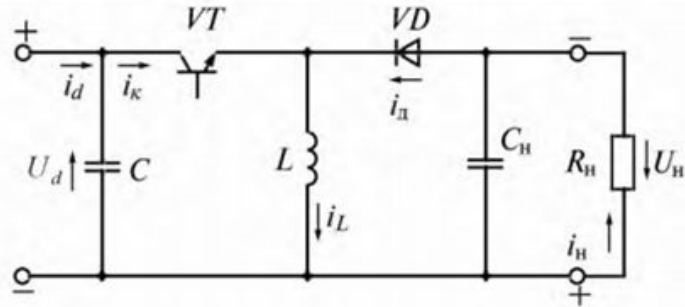
Переменное сетевое напряжение частотой 50 герц выпрямляется сглаживается выпрямителем- фильтром (ВФ1). Затем постоянное напряжение с помощью инвертора(И) преобразуется в импульсный переменные напряжения повышенной частоты. Импульсный трансформатор (Тр) преобразует напряжение в необходимое для питания значение. Выпрямитель-фильтр (ВФ2) сглаживает пульсации и питать нагрузку.

Схемы выпрямителей и фильтров хорошо известны. Подробно рассмотрим схемотехнику инверторов, так как они определяют надёжность работы схемы. Самой простой является однотактная схема прямоходового инвертор. Она так называется потому, что электрическая энергии передается на выход в течение одной части периода преобразования. Если энергия передается в тот момент, когда силовой ключ замкнут, такой преобразователь называют **прямоходовым** (forward). Если энергия передается когда ключ разомкнут - преобразователь называют **обратноходовым** (flyback)

# Преобразователи постоянного напряжения с гальванической развязкой. Схемотехника развития.

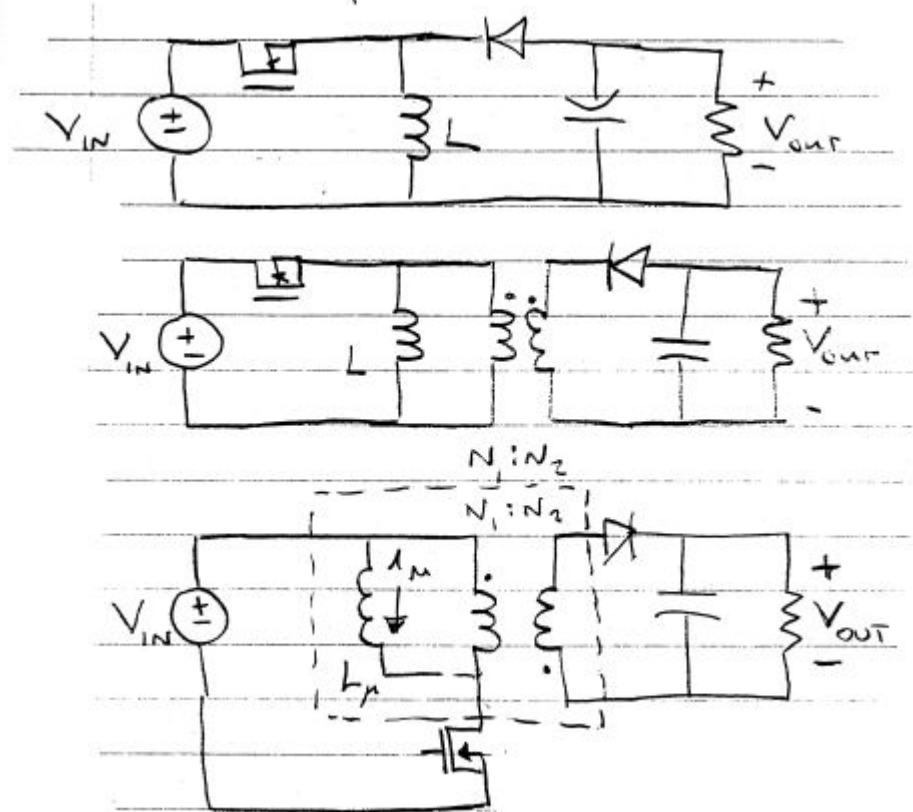
## Универсальный (инвертирующий) ППН.

Схема универсального ППН имеет вид

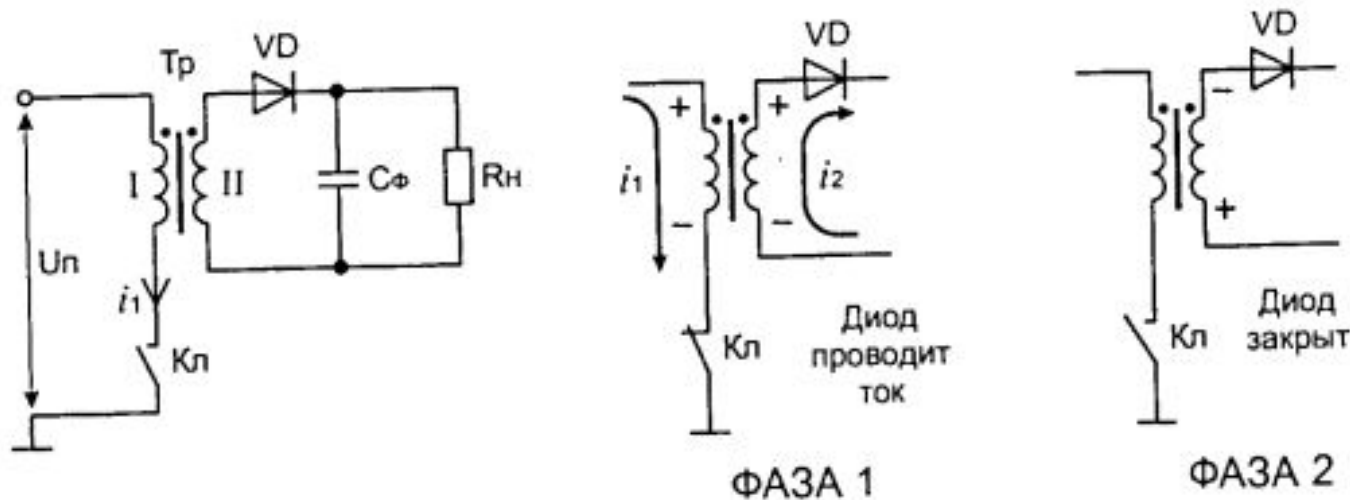


Прямоходовая (forward)  
схема

Обратноходовая (flyback)  
схема



## Прямоходовая (forward) схема преобразователя.



Цикл работы состоит из двух частей:

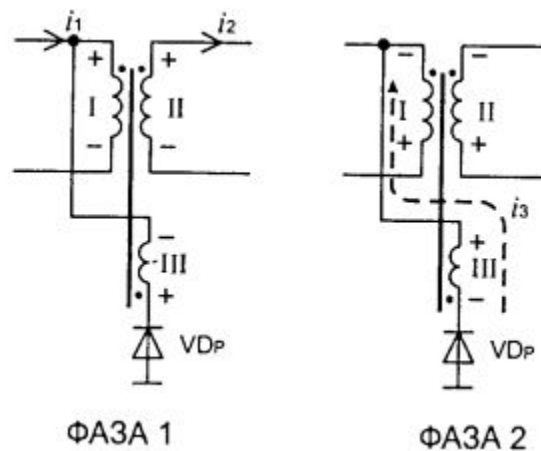
- фаза 1 - передачи энергии;
- фаза 2 - холостой ход.

В фазе 1 ток  $i_1$  индуцирует ток  $i_2$  во вторичной обмотке трансформатора  $Tr$ . Поскольку диод  $VD$  в этом случае оказывается включенным в прямом направлении, ток  $i_2$  заряжает емкость  $C_\Phi$ . При размыкании ключа  $Kл$  ЭДС самоиндукции «переворачивает» полярность на выводах трансформатора, диод  $VD$  блокируется, ток нагрузки поддерживается исключительно за счет разряда емкости  $C_\Phi$ .

## Недостатки схемы:

- работа с однополярными токами в обмотках трансформатора требует мер по снижению одностороннего намагничивания сердечника;
  - при размыкании ключа энергия, накопленная в индуктивности, не может мгновенно исчезнуть. В этом случае возникает индуктивный выброс - повышение напряжения на выводах транзистора, что может привести к его пробую;
  - короткое замыкание выходных клем приведет к выводу силовой части из строя.
- Следовательно, требуются тщательные меры защиты от короткого замыкания.

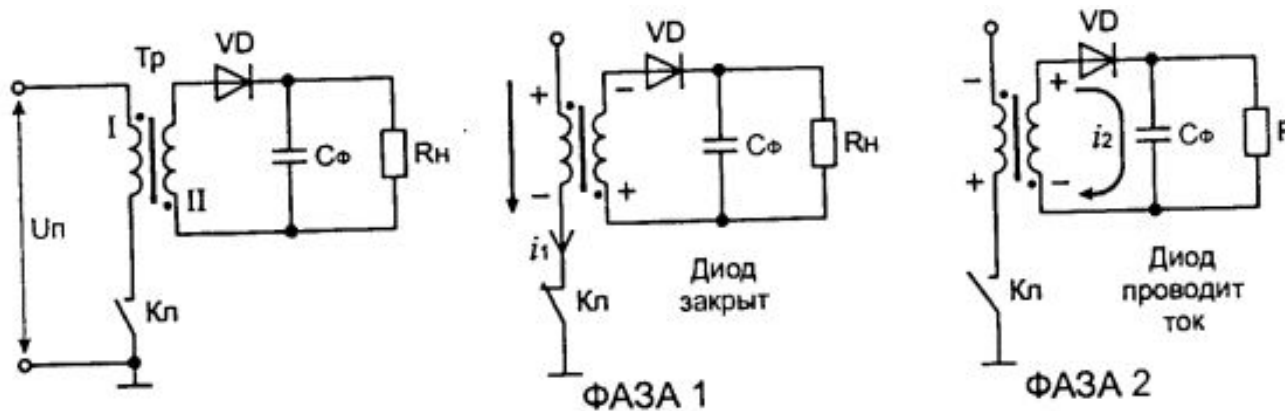
С первым недостатком борются введением немагнитного зазора. Для борьбы с перенапряжением используется дополнительная обмотка, разрешающий индуктивный элемент в фазе холостого хода током  $i_3$ .



подавляющее большинство современных устройств имеет обратноходовые преобразователи.

## Обратноходовые (flyback) преобразователи.

Обратноходовые преобразователи отличается от прямоходовых только тем, что концы вторичных обмоток трансформатора включены наоборот.



В данном случае фаза накопления энергии и передачи ее в нагрузку разделены во времени. Во время накопления энергии трансформатором (фаза 1) ключ Кл замкнут, в первичной обмотке течет ток  $i_1$ . Как известно напряжение на индуктивности  $U_L = L_1 \frac{di_1}{dt}$ . Поскольку в данном случае  $U_L = U_{\Pi}$ , а напряжение питания является постоянной величиной, то оба вывода первичной обмотки оказываются подключенным к источнику питания с низким внутренним сопротивлением. Откуда ток может быть найден как

$$i_1 = \frac{1}{L_1} \int U_{\Pi} dt.$$

Если проинтегрировать, получим простое выражение для тока заряда

$$i_1(t) = \frac{U_{\Pi} t}{L_1} \quad (1)$$

$L_1$  - индуктивность первичной обмотки.

Как видно, на этом участке ток первичной обмотке линейно нарастает.

Передача энергии (фаза 2) наступает при размыкании ключа Кл. В этот момент полярность на выводах трансформатора вследствие ЭДС самоиндукция меняется на противоположную. Диод VD открывается, ток  $i_2$  заряжает конденсатор фильтра  $C_{\Phi}$ . Закон спада тока вторичной обмотки описывается следующим выражением

$$i_2(t) = i_1^* - \frac{U_H t}{L_2}$$

где  $i_1^*$  - ток первичной обмотки, пересчитанный во вторичную. Его величина фиксируются в тот момент, когда происходит размыкание ключа;

$L_2$  - индуктивность вторичной обмотки.

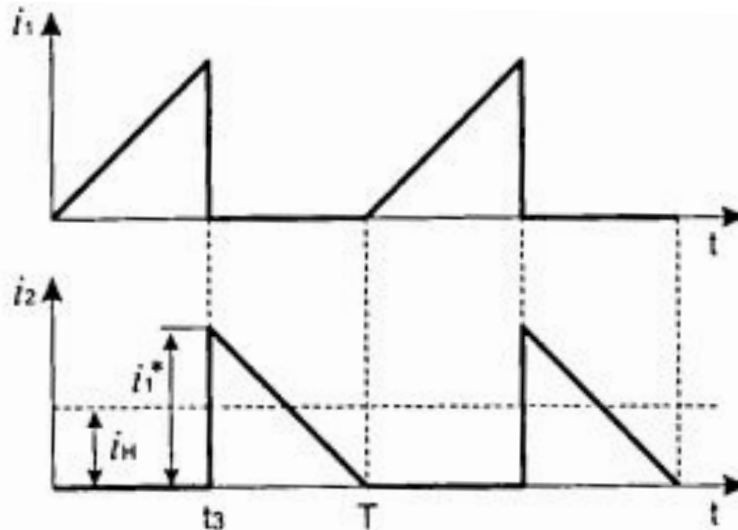


Графики формы тока в первичной и вторичной обмотках.

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

$$\frac{t - t_3}{T - t_3} = \frac{i_H - i_1^*}{0 - i_1^*}$$

$$i_H = i_1^* \frac{T - t}{T - t_3}$$



Рассмотрим процесс во вторичной цепи, поскольку нас интересует напряжение и ток нагрузки. При достаточно большой величине емкости  $C_\phi$ , обеспечивающий качественную фильтрацию постоянной составляющей

$$i_H = \frac{1}{T} \int_{t_3}^T i_1^* \frac{T-t}{T-t_3} dt, \quad i_H = \frac{i_1^*}{T(T-t_3)} \int_{t_3}^T (T-t) dt$$

где  $t_3$  - время, в течение которого происходит «накачка» энергии индуктивный элемент.

$$\begin{aligned} i_H &= \frac{i_1^*}{T(T-t_3)} \left[ T(T-t_3) - \frac{1}{2}(T^2 - t_3^2) \right] = \\ &= \frac{i_1^*}{T(T-t_3)} \left[ T(T-t_3) - \frac{1}{2}(T-t_3)(T+t_3) \right] = \frac{i_1^*}{T} \frac{T-t_3}{2} = i_1^* \frac{1-\gamma}{2}, \end{aligned}$$

где  $\gamma = t_3/T$  - коэффициент заполнения.

Чтобы связать токи  $i_1$  и  $i_2$  предположим, что вся энергия, накопленная в первой фазе, переходит в нагрузку в фазе 2 (индуктивный элемент полностью передает свою энергию). Это можно выразить следующей формулой

$$L_1 i_1^2 = L_2 i_2^2.$$

Поскольку конструктивные параметры сердечника не изменяются, то можем записать

$$L_1 = \frac{\mu\mu_0 S}{l_{\text{cp}}} w_1^2, \quad L_2 = \frac{\mu\mu_0 S}{l_{\text{cp}}} w_2^2.$$

Приравняв одинаковые части получим

$$i_1 w_1 = i_2 w_2 \quad \text{или} \quad i_1 = i_2 k$$

где  $k = w_2/w_1$  - коэффициент трансформации.

Поскольку  $i_2 = i_1^*$  при  $t = t_3$  из последнего выражения с учетом (1) получим

$$i_1^* = \frac{U_n t_3}{k L_1} = \frac{U_n \gamma}{k L_1 f}.$$

Обозначим  $L_1 = L$ , поскольку с этого момента мы будем иметь дело только с индуктивностью первичной обмотки.

Итак

$$i_H = \frac{\gamma(1-\gamma)U_n}{2Lfk}$$

где  $f$  - частота преобразования.

Либо

$$\frac{U_H}{R_H} = \frac{\gamma(1-\gamma)U_n}{2Lfk}. \quad (2)$$

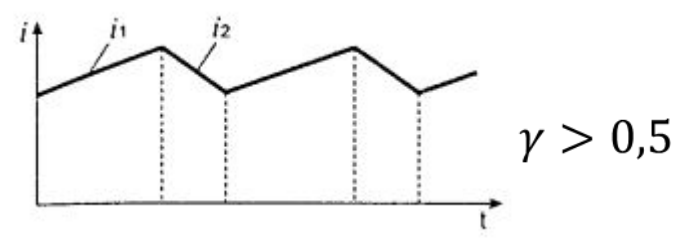
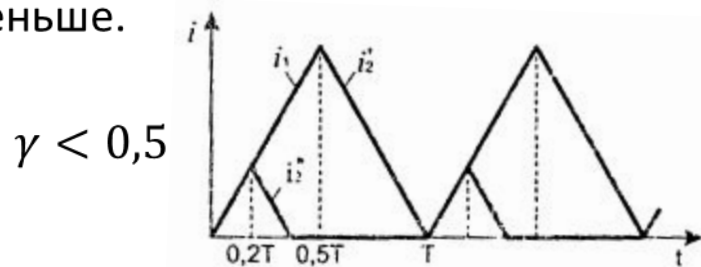
Итак, при неизменном сопротивлении нагрузки и питающем напряжении, а так же частоте преобразования, индуктивности первичной обмотки и постоянстве коэффициента трансформации **максимум** напряжения на нагрузке получаем при  $\gamma = 0,5$ .

Практически это означает, что задав время заряда  $t_3$  либо близким к нулю, либо близким к периоду коммутации  $T$ , мы получаем близкое к нулю напряжение на нагрузке, т.е  $\gamma$  может изменяться в диапазоне:  $\gamma = 0 \dots 0,5$  или  $\gamma = 0,5 \dots 1$ .

Практически более предпочтителен **первый режим**.

### Выбор режим работы.

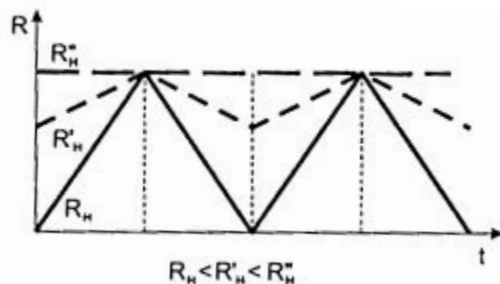
Пусть индуктивность первичной обмотки трансформатора  $L$  выбрала такой? что при  $\gamma = 0,5$  происходит полный разряд на нагрузку. Если мы уменьшим коэффициент заполнения ( $\gamma < 0,5$ ), то ток вторичной обмотки станет прерывистым на протяжении фазы разряда. Следовательно напряжение будет снижаться. Если коэффициент заполнения увеличить ( $\gamma > 0,5$ ), то ток вторичной обмотки трансформатор не будет успевать полностью разряжаться, появится постоянная составляющая. Однако напряжение будет снижаться из-за произведения  $\gamma(1 - \gamma)$ . Физически это означает, что постоянная составляющая не будет передаваться в нагрузку, а время разряда будет меньше.



При проектировании необходимо следить за тем чтобы при на нагрузке было максимальное значение тока. Данный режим должен обеспечиваться и при снижении питающего напряжения до минимальной величины, которая задается в начале проектирования. Выбор индуктивности осуществляется из выражения

$$L = \frac{\gamma - (1 - \gamma)U_n^{min}}{2i_{Hmin}fk}$$

Увеличение сопротивления нагрузки согласно формуле (2) приведет к увеличению, скачку напряжение на нагрузке. Если в схеме присутствует блок стабилизации, то он отработает скачок уменьшением  $\gamma$ . Увеличение значения сопротивления нагрузки при неизменном коэффициенте заполнения приведет к увеличению невозвращаемый составляющей, которая будет тем больше, чем больше сопротивление нагрузки.



Определим предельное напряжение исходя из равенства нулю среднего тока трансформатора

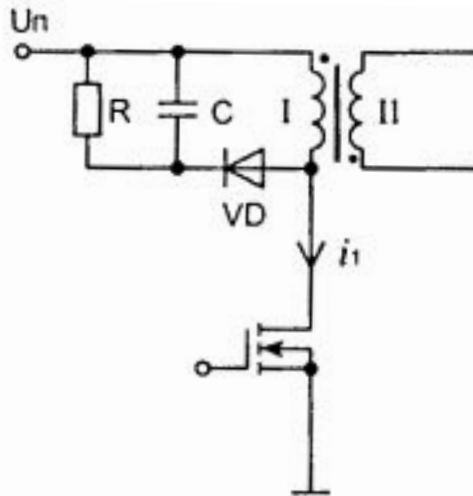
$$\frac{U_{\Pi} t_3}{L_1} = \frac{U_H (T - t_3)}{kL_1}$$

Откуда

$$U_H = U_{\Pi} \frac{w_2}{w_1} \frac{\gamma}{1 - \gamma}$$

Как видно, напряжение зависит от напряжению питания коэффициента заполнения. Чтобы обезопасить схему от бросков напряжения при включении питания включают так называемую неотключаемую нагрузку, параметра который выбирают из минимально возможного для схемы коэффициента заполнения.

Фиксирующая цепочка.



В первичной обмотке, нагруженный элементами R, C, VD протекает электрический ток, наведенный ток от вторичной обмотки. Этот ток заряжает емкость, напряжение на которой в установившемся режиме равно напряжению питания. Фиксирующая цепочка представляет собой дополнительную нагрузку для трансформатора. Мощность, рассеиваемая на сопротивлении может находиться в пределах 2% от мощности, выделяющейся в нагрузке

$$R = \frac{U_n^2}{0,02P_H}$$

Емкость конденсатора рекомендуется выбирать так, чтобы постоянная разряда цепочки была на пару порядков больше периода коммутации

$$C = \frac{100}{Rf}.$$

Обратное напряжение диода должно быть не менее

$$U_{\text{обр.мах.доп}} \gg 1,5U_n.$$