

Практическое занятие 1

Тема «Групповое соединение преобразователей»

1. Для схемы выпрямителя, показанной на рис. 21, определить среднее значение выпрямленного напряжения и состав гармоник выпрямленного напряжения, если дано, что проводимость непрерывная.

2. Определить среднее значение выпрямленного напряжения для выпрямителя со схемой соединений, показанной на рис. 22, при условии, что проводимость вентилей непрерывная. Трансформатор и диоды идеальные.

3. Трехфазный управляемый мостовой выпрямитель работает на нагрузку, состоящую из последовательно соединенных резистора с сопротивлением $R_d = 2,25 \text{ Ом}$ и реактора с индуктивностью $L_d = \infty$ при $U_2 = 110 \text{ В}$ и $I_d = 100 \text{ А}$. Определить среднее значение выпрямленного напряжения и ток нагрузки после срабатывания предохранителя в фазе C (рис. 18), при условии, что устройство управления не сместит управляющие импульсы.

4. Преобразователь со схемой соединений 3Ф2Н6П, показанный на рис. 19, работает в инверторном режиме. Построить кривые напряжений на полюсах инвертора и тока тиристоров. Определить среднее значение активной мощности, поступающей в сеть переменного тока, при условии, что $U_2 = 220 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$, $R_d = 1 \text{ Ом}$, $L_d \approx \infty$, $E_d = 400 \text{ В}$, $\alpha = 120^\circ$, а индуктивность трансформатора: а) $L_\gamma = 0$, б) $L_\gamma = 1 \text{ мГн}$. Активным сопротивлением трансформатора пренебречь, вентили идеальные.

5 Преобразователь имеет схему соединений 3Ф1НЗП (рис. 13, 14), одна из фаз сетевой обмотки стержневого трансформатора отключается. Трансформатор идеальный. Числа витков сетевой и вентильной обмоток ω_1 и ω_2 . Как изменится значение выпрямленного напряжения в результате отключения, если сетевые обмотки соединены в звезду, а нейтраль: а) выведена, б) изолирована.

Практическое занятие 2

Тема «Несимметричные схемы»

1. В полупроводниковой схеме, показанной на рис. 7, $\alpha = 60^\circ$, $U_2 = 100$ В, $R_d = 1$ Ом, $L_d \approx \infty$. Трансформатор и вентили идеальные. Построить кривые токов диодов и тиристора. Определить средние и действующие значения этих токов.

2. Трехфазный полупроводниковый мостовой выпрямитель питает активную нагрузку через реактор с индуктивностью $L_d \approx \infty$ (рис. 20). Определить угол управления, если $U_2 = 110$ В, $R_d = 1,285$ Ом, $P_d = 12,85$ кВт. Определить средние и действующие значения токов тиристорных и диодных ветвей, а также среднее и действующее значения тока вентильной обмотки трансформатора.

3. Для схемы выпрямителя, показанной на рис. 21, определить среднее значение выпрямленного напряжения и состав гармоник выпрямленного напряжения, если дано, что проводимость непрерывная.

4. Управляемый преобразователь со схемой соединений 3Ф1НЗП, имеющий шунтирующий диод, работает на нагрузку, состоящую из последовательно соединенных резисторов с сопротивлением $R_d = 2$ Ом и реактора с индуктивностью $L_d = \infty$. Определить среднее значение тока нагрузки и углы коммутации при условии, что фазное напряжение вентильной обмотки преобразовательного трансформатора $U_2 = 220$ В, реактивное сопротивление коммутации $X_\gamma = 0,1$ Ом, угол управления $\alpha = 60^\circ$.

Полупроводниковые вентили идеальные, а индуктивность цепи шунтирующего диода равна нулю.

5. Определить среднее значение тока, проходящего через активную нагрузку $R_d = 10$ Ом после срабатывания предохранителя в одном из плеч трехфазного мостового управляемого выпрямителя (рис. 17). Напряжение вентильной обмотки трансформатора $U_2 = 100$ В, угол управления $\alpha = 30^\circ$, ширина импульса управления 120° .

Практическое занятие 3

Тема «Виды аварийных процессов в преобразователях»

1. Однофазный преобразователь с мостовой схемой соединений питается от трансформатора мощностью $S_{\text{тр}} = 10$ кВ·А, присоединенного к сети неограниченной мощности. Напряжение вентильной обмотки трансформатора $U_2 = 200$ В, его ток намагничивания равен 3 % номинального тока. Определить параметры защитного устройства от перенапряжений, возникающих при отключении трансформатора, предполагая, что перенапряжение не должно превышать двойного номинального напряжения. Схема защиты состоит из RC-цепочек. Минимальное время между двумя отключениями трансформатора равно 10 с, наименьшая длительность включенного состояния трансформатора между двумя отключениями – 5 с. На рис. 45 показаны относительные значения емкости, а также минимального и максимального сопротивлений в зависимости от коэффициента перенапряжений.

2. Однофазный преобразователь с мостовой схемой соединений питается от трансформатора мощностью $S_{\text{тр}} = 10$ кВ·А, присоединенного к сети неограниченной мощности. Напряжение вентильной обмотки трансформатора $U_2 = 200$ В, его ток намагничивания равен 3 % номинального тока. Определить параметры защитного устройства от перенапряжений, возникающих при отключении трансформатора, предполагая, что перенапряжение не должно превышать двойного номинального напряжения. Схема защиты состоит из RC-цепочки, присоединенной через вспомогательный выпрямитель. Минимальное время между двумя отключениями трансформатора равно 10 с, наименьшая длительность включенного состояния трансформатора между двумя отключениями – 5 с. На рис. 45 показаны относительные значения емкости, а также минимального и максимального сопротивлений в зависимости от коэффициента перенапряжений.

3. Через однофазный прерыватель со встречно-параллельно включенными тиристорами к сети с напряжением $U_{\text{ном}} = 220$ В и частотой $f = 50$ Гц присоединен реактор с индуктивностью $L_{\text{н}} = 12$ мГн (рис. 46). Применены тиристоры с номинальным средним значением тока 50 А. Тиристоры работают при естественном воздушном охлаждении с температурой воздуха $\Theta = 45$ °С, при этом допустимое среднее значение тока составляет $I_{\text{ср.доп}} = 30$ А. Повторяющиеся напряжения тиристоров $U_{\text{пр.п}} = U_{\text{обр.п}} = 600$ В, критические значения скоростей нарастания тока и прямого напряжения $(di/dt)_{\text{кр}} = 25$ А/мкс, $(du/dt)_{\text{кр}} = 50$ В/мкс. Характеристики запасенного в тиристорах заряда показаны на рис. 47. Отклонения напряжения сети

составляют $\pm 10\%$. Коэффициент запаса по напряжению на тиристоре $b = 1,3$. При расчете реактивным сопротивлением сети можно пренебречь. Рассчитать значения R и C демпфирующей цепочки, присоединенной параллельно тиристорам. Определить потери мощности в резисторе R .

Практическое занятие 4

Тема «Преобразователи постоянного тока»

1. Рассчитать широтно-импульсный преобразователь с автотрансформаторной коммутацией, работающий на двигатель постоянного тока (рис. 23). Исходные данные: напряжение на входе преобразователя $U_{\text{вх}} = 27$ В; максимальное значение тока якоря двигателя 90 А, время запираания тиристорov $t_{\text{вос}} \leq 20$ мкс.

2. Рассчитать однофазный инвертор тока (рис. 26). Исходные данные: напряжение на нагрузке $U_{\text{н}} = 150$ В; ток нагрузки $I_{\text{н}} = 5$ А; диапазон изменения нагрузки (2-7) А; выходная частота $f = 50$ Гц; коэффициент мощности нагрузки $\cos \varphi = 0,5$.

3. Рассчитать однофазный резонансный последовательный инвертор (рис. 27). Исходные данные: выходная мощность $S_{\text{н}} = 900$ ВА; пределы изменения выходной мощности (75-110)%; выходное напряжение $U_{\text{н}} = 127$ В; коэффициент мощности нагрузки $\cos \varphi = 0,7$; выходная частота $f = 500$ Гц.

4. Рассчитать однофазный инвертор напряжения (рис. 28). Исходные данные: полная мощность нагрузки по первой гармонике $S_{(1)\text{н}} = 400$ ВА; действующее значение напряжения первой гармоники на нагрузке $U_{(1)\text{н}} = 40$ В; коэффициент мощности нагрузки $\cos \varphi = 0,3$; напряжение источника питания $U = 100$ В; $f = 500$ Гц.

5. Рассчитать преобразователь с самовозбуждением (рис. 29). Исходные данные: напряжение источника питания $U = 12,6$ В; напряжение на выходной обмотке преобразователя $U_{\text{вых}} = 20$ В; ток выходной обмотки преобразователя $I_{\text{вых}} = 1$ А; частота преобразования $f = 500$ Гц.

Практические занятия 5

Тема «Вентильный преобразователь как элемент системы автоматического регулирования»

1. Рассчитать управляемый выпрямитель (рис. 32). Исходные данные: выпрямленное напряжение $U_{ср} = 220 \dots 150$ В; выпрямленный ток $I_{ср} = 60$ А; напряжение однофазной питающей сети $U_c = 220$ В; частота тока питающей сети $f_c = 50$ Гц; нагрузкой выпрямителя является обмотка возбуждения двигателя постоянного тока; индуктивность обмотки такова, что ток в ней непрерывен.

2. Неуправляемый выпрямитель со схемой соединений 1Ф1Н2П питает нагрузку, состоящую из активного сопротивления. Напряжение на нагрузке $U_d = 60$ В, ток $I_d = 260$ А. Можно считать, что сеть имеет неограниченную мощность при напряжении $U_1 = 220$ В. Преобразователь должен выдерживать нагрузку $I_{d\text{макс}} = 700$ А длительностью 1 с без повреждения элементов при условии, что за перегрузкой следует бестоковая пауза до тех пор, пока элементы не охладятся. Технические данные диодов: номинальный ток при установке диода на теплоотводящий радиатор $I_{\text{ном}} = 70$ А (естественное охлаждение) и $I_{\text{ном}} = 160$ А (принудительное охлаждение при скорости потока воздуха 6 м/с); допустимое обратное повторяющееся напряжение $U_{\text{обр.п}} = 400$ В. Прямая вольт-амперная характеристика диода приведена на рис. 33, а его перегрузочные характеристики показаны на рис. 35. Определить число элементов, необходимое для построения преобразователя при естественном охлаждении и при принудительном. Какие активные сопротивления нужно включить в ветви параллельно соединенных диодов, чтобы обеспечить надежную работу, если подбор диодов по индивидуальным характеристикам невозможен?

3. Какие резисторы для деления тока должны быть использованы в преобразователе, описанном в задаче 41, работающем с естественным охлаждением диодов, если разброс сопротивлений резисторов не менее $\pm 5\%$?

4. Какие резисторы для деления тока должны быть применены в преобразователе, описанном в задаче 41, работающем при естественном охлаждении, если из четырех имеющихся и испытанных диодов три соответствуют экстремальной прямой характеристике с минимальным падением напряжения, а четвертый – экстремальной прямой характеристике с максимальным падением напряжения?

Практическое занятие №6,7

1. Построить трехфазный мостовой управляемый выпрямитель для питания нагрузки $I_{дн} = 4000$ А. Индуктивность нагрузки может считаться бесконечно большой. Преобразователь должен выдерживать длительные перегрузки, равные 20 %. Определить число параллельно соединенных тиристоров. Какие токораспределительные резисторы должны быть использованы, если допуск на разброс их номинальных сопротивлений равен $\pm 5\%$? Какое охлаждение должно быть применено? Прямые характеристики тиристоров приведены на рис. 34, характеристики потерь мощности - на рис. 36, а характеристики допустимой нагрузки в зависимости от температуры корпуса тиристора - на рис. 37. Потери мощности в токораспределительных резисторах не должны превышать потерь мощности в тиристорах. Система охлаждения поддерживает температуру корпуса тиристора равной или меньшей $t_k = 87^\circ\text{C}$, допустимое среднее значение тока тиристора $I_{Т.ср} = 280$ А.

2. Однофазный преобразователь с мостовой схемой соединений питается от трансформатора мощностью $S_{тр} = 10$ кВ·А, присоединенного к сети неограниченной мощности. Напряжение вентильной обмотки трансформатора $U_2 = 200$ В, его ток намагничивания равен 3 % номинального тока. Определить параметры защитного устройства от перенапряжений, возникающих при отключении трансформатора, предполагая, что перенапряжение не должно превышать двойного номинального напряжения. Схема защиты состоит из RC-цепочек. Минимальное время между двумя отключениями трансформатора равно 10 с, наименьшая длительность включенного состояния трансформатора между двумя отключениями - 5 с. Допустимый коэффициент перенапряжений $k=2$; относительные значения емкости $c^*=0,17$; минимальное и максимальное сопротивления $R_{min}=1,7$ $R_{max}=3,3$ в зависимости от коэффициента перенапряжений.

3. Однофазный преобразователь с мостовой схемой соединений питается от трансформатора мощностью $S_{тр} = 10$ кВ·А, присоединенного к сети неограниченной мощности. Напряжение вентильной обмотки трансформатора $U_2 = 200$ В, его ток намагничивания равен 3 % номинального тока. Определить параметры защитного устройства от перенапряжений, возникающих при отключении трансформатора, предполагая, что перенапряжение не должно превышать двойного номинального напряжения. Схема защиты состоит из RC-

цепочки, присоединенной через вспомогательный выпрямитель. Минимальное время между двумя отключениями трансформатора равно 10 с, наименьшая длительность включенного состояния трансформатора между двумя отключениями – 5 с. Допустимый коэффициент перенапряжений $k=2$; относительные значения емкости $c^*=0,17$; минимальное и максимальное сопротивления $R_{\min}=1,7$ $R_{\max}=3,3$ в зависимости от коэффициента перенапряжений.

4. Определить $\cos\varphi$ нагрузок генератора в однофазной мостовой схеме с полупроводниковым выпрямителем (рис.7) (VD1, VD2- диоды, VT4, VT3- тиристоры)

5. Шестипульсный выпрямитель потребляет от сети ток $I_1= 100$ А; коэффициент искажения формы тока $k=0,96$. Определить действующие значения гармоник, действующее значение тока $I_{г}$ высших гармонических.

6. Построить кривые токов i_d, i_{11}, i_{22} и i_1 и напряжения U_d для преобразователя со схемой 1Ф1Н2П (рис. 1), и сопоставить их с кривой напряжения u_1 .

Определить среднее значение тока нагрузки. Дано $U_1 = 100$ В, $f = 50$ Гц, $k_{\text{тр}} = 1$, $R_d = 10$ Ом, $L_d \approx \infty$. Индуктивность трансформатора $L_{\gamma} = 10$ мГн. Полупроводниковые вентили одинаковые, $\alpha = 45^\circ$.

7. Построить кривые токов i_d, i_{21}, i_{22} и i_1 в схеме 1Ф1Н2П преобразователя (рис. 1), и сопоставить их с кривой напряжения U_1 . Определить расчетную мощность трансформатора $S_{\text{тр}}$ при указанных условиях работы. Дано: $U_1 = 100$ В, $f = 50$ Гц, коэффициент трансформации 1:1, $R_d = 10$ Ом, $\alpha = 45^\circ, L_d \approx \infty, L_{\gamma} = 0$. Трансформатор и вентили идеальные.

ПРИЛОЖЕНИЕ: Схемы к представленным задачам

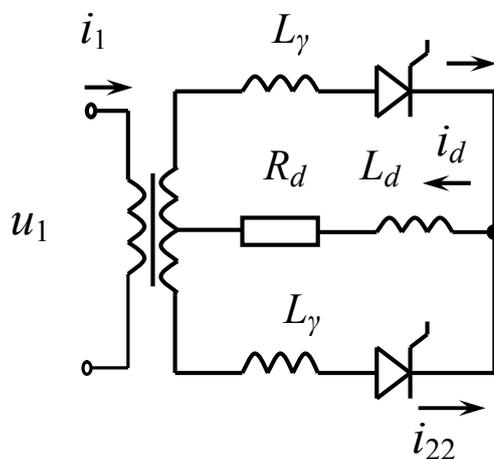


Рис. 1. Управляемый преобразователь со схемой 1Φ1Н2П

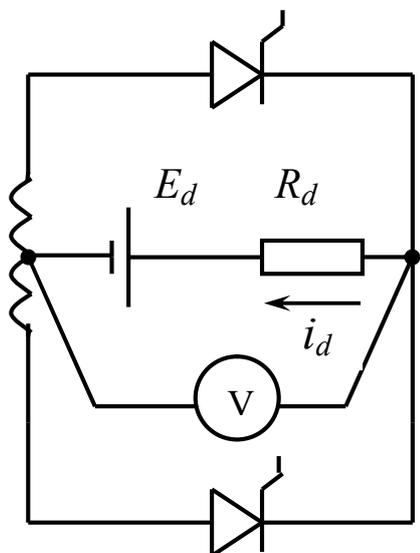


Рис. 2. Управляемый выпрямитель со схемой 1Φ1Н2П, работающий на нагрузку, представленную противоЭДС E_d и резистором R_d

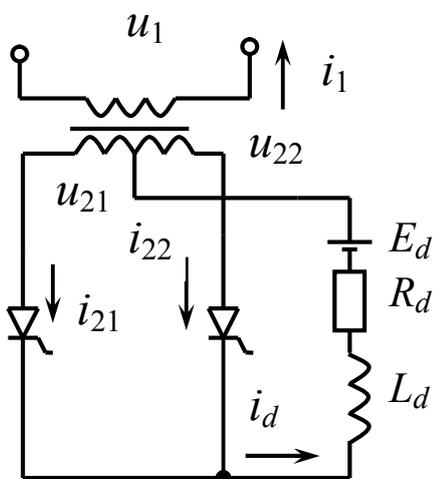


Рис. 3. Управляемый преобразователь со схемой 1Φ1Н2П

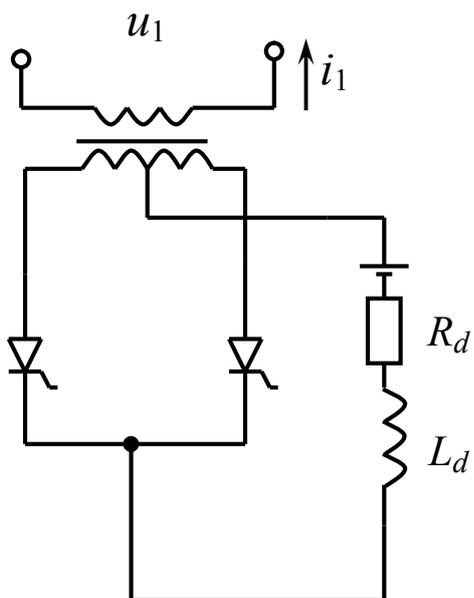


Рис. 4. Управляемый преобразователь со схемой 1Φ1Н2П

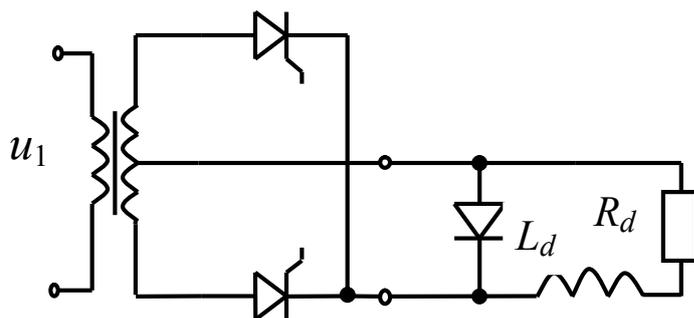
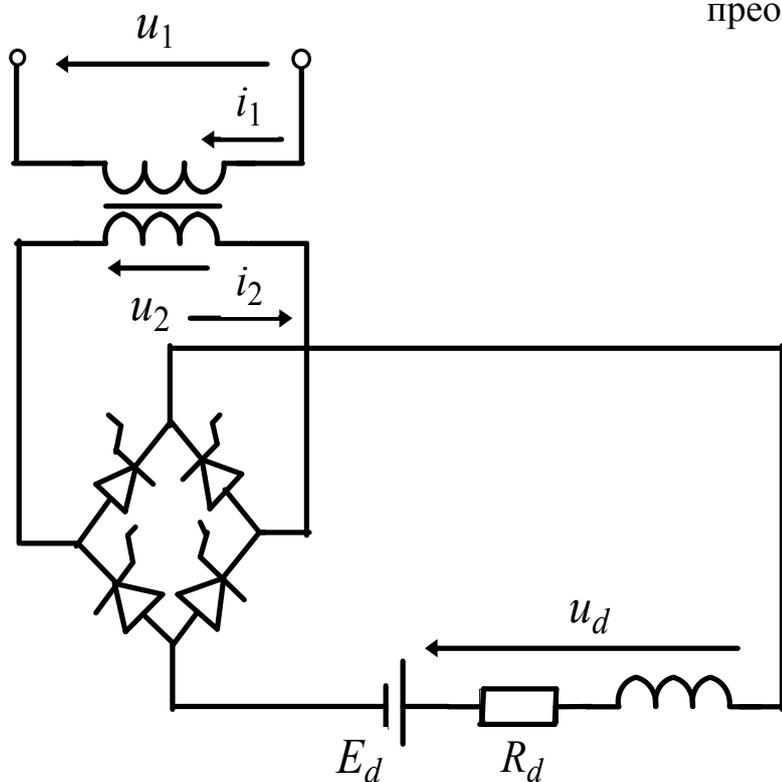


Рис. 5. Управляемый преобразователь со схемой 1Φ1Н2П с шунтирующим диодом

Рис. 6. Управляемый преобразователь со схемой 1Φ2Н2П



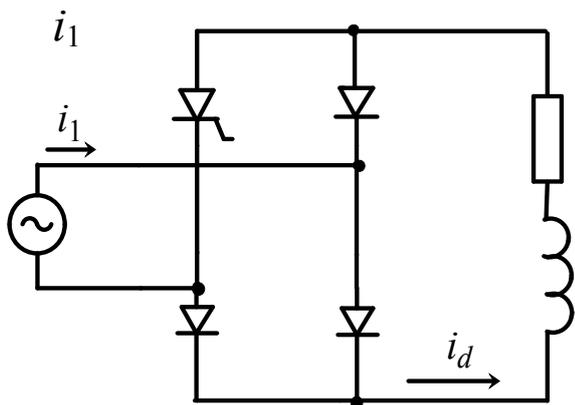


Рис. 7. Однофазный мостовой выпрямитель

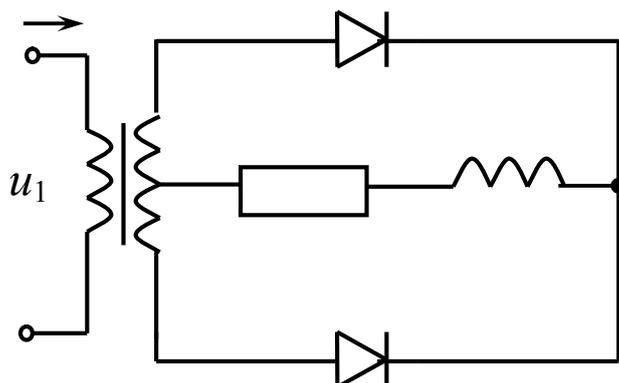


Рис. 8. Преобразователь со схемой 1Φ1Н2Π

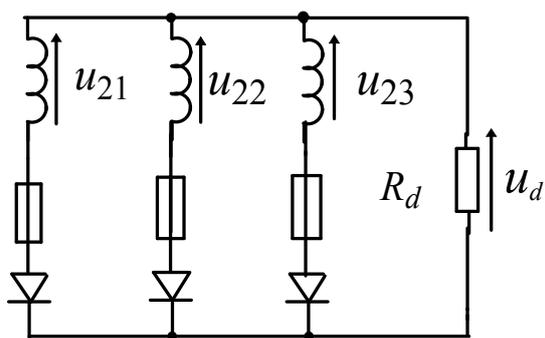


Рис. 9. Схема выпрямленного напряжения

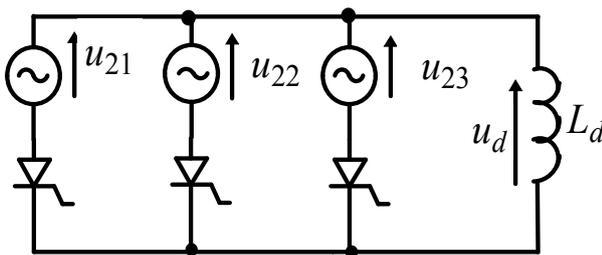


Рис. 10. Схема выпрямителя

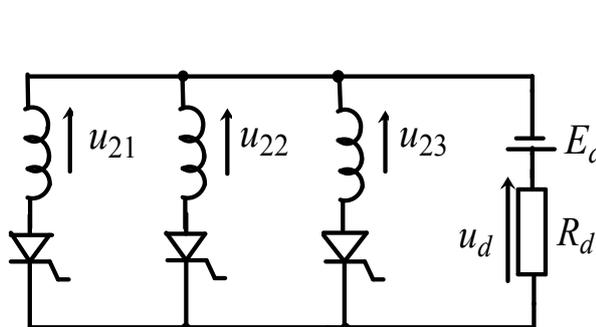


Рис. 11. Схема выпрямителя

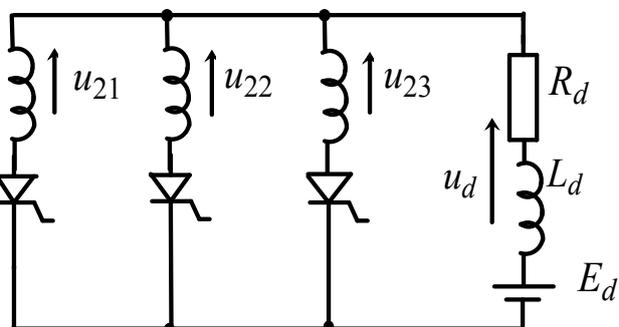


Рис. 12. Схема выпрямителя

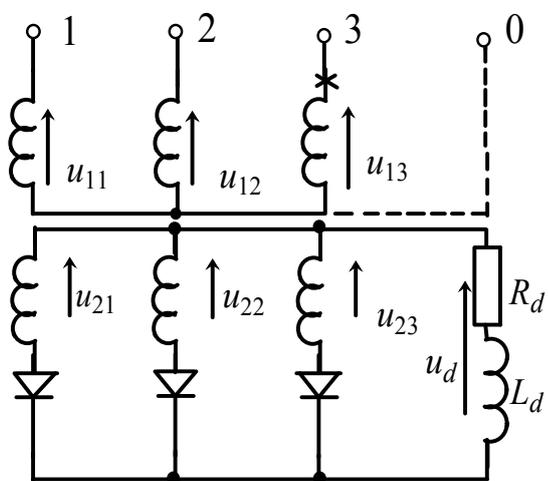


Рис. 13. Схема соединений

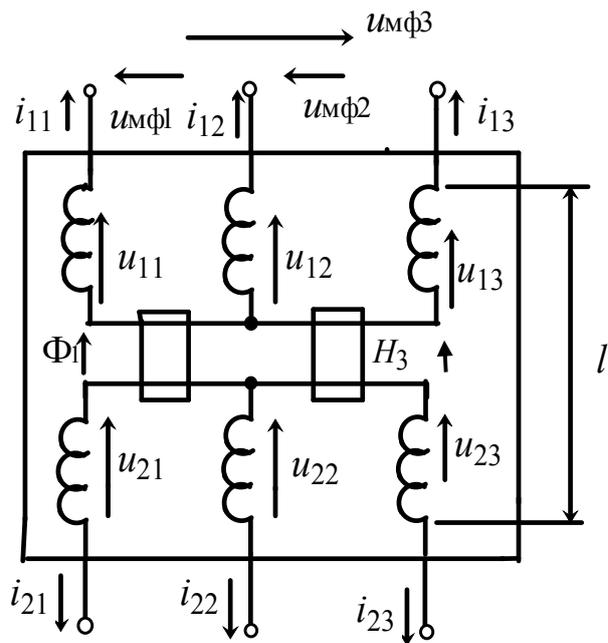


Рис. 14. Схема соединений

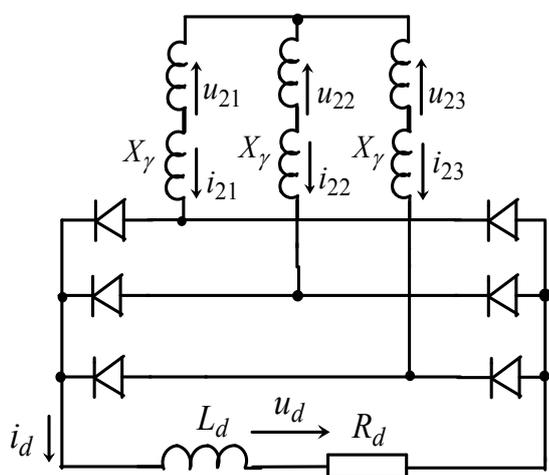


Рис. 15. Схема выпрямителя

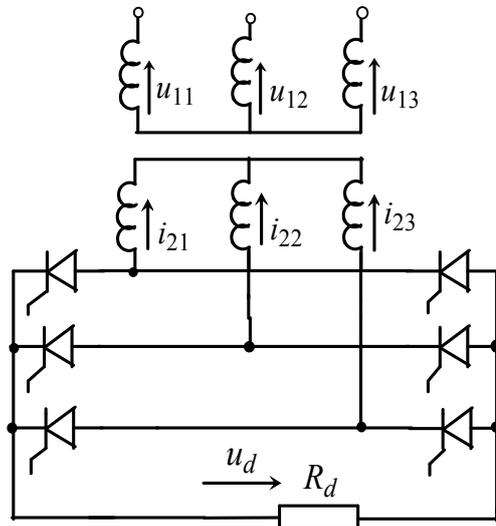


Рис. 16. Схема выпрямителя

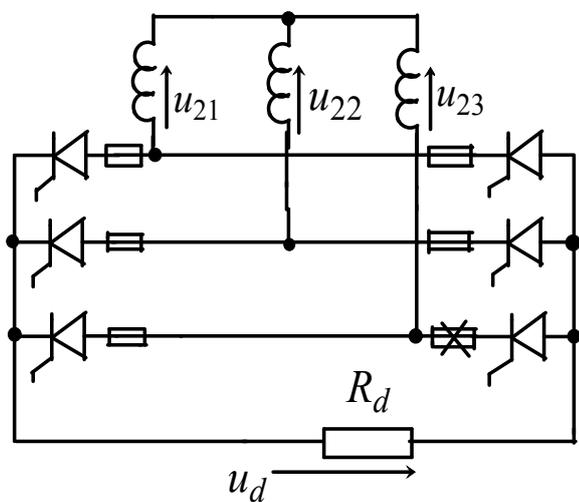


Рис. 17. Схема выпрямителя

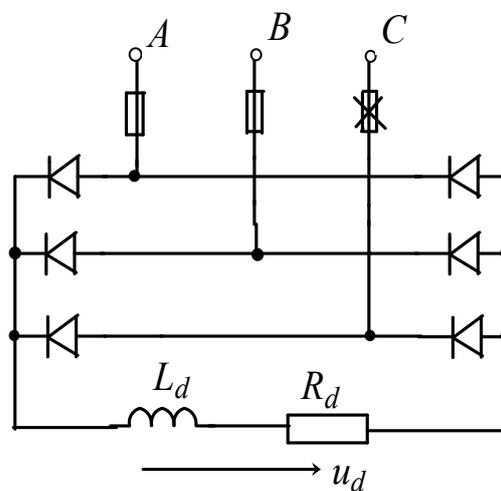


Рис. 18. Схема выпрямителя

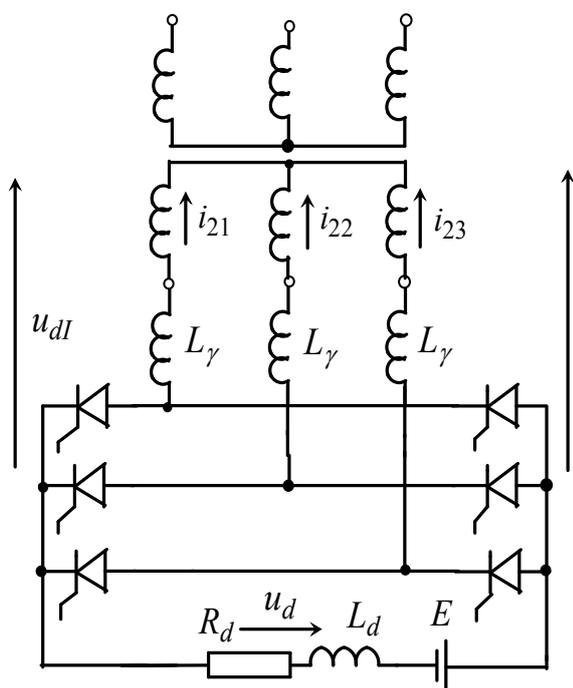


Рис. 19. Схема инвертора

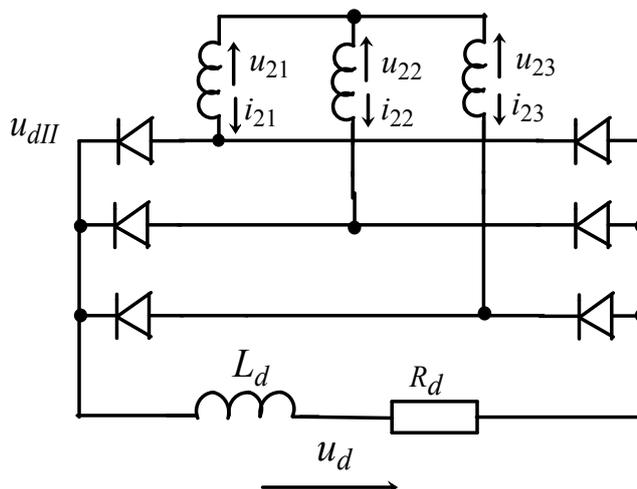


Рис. 20. Схема выпрямителя

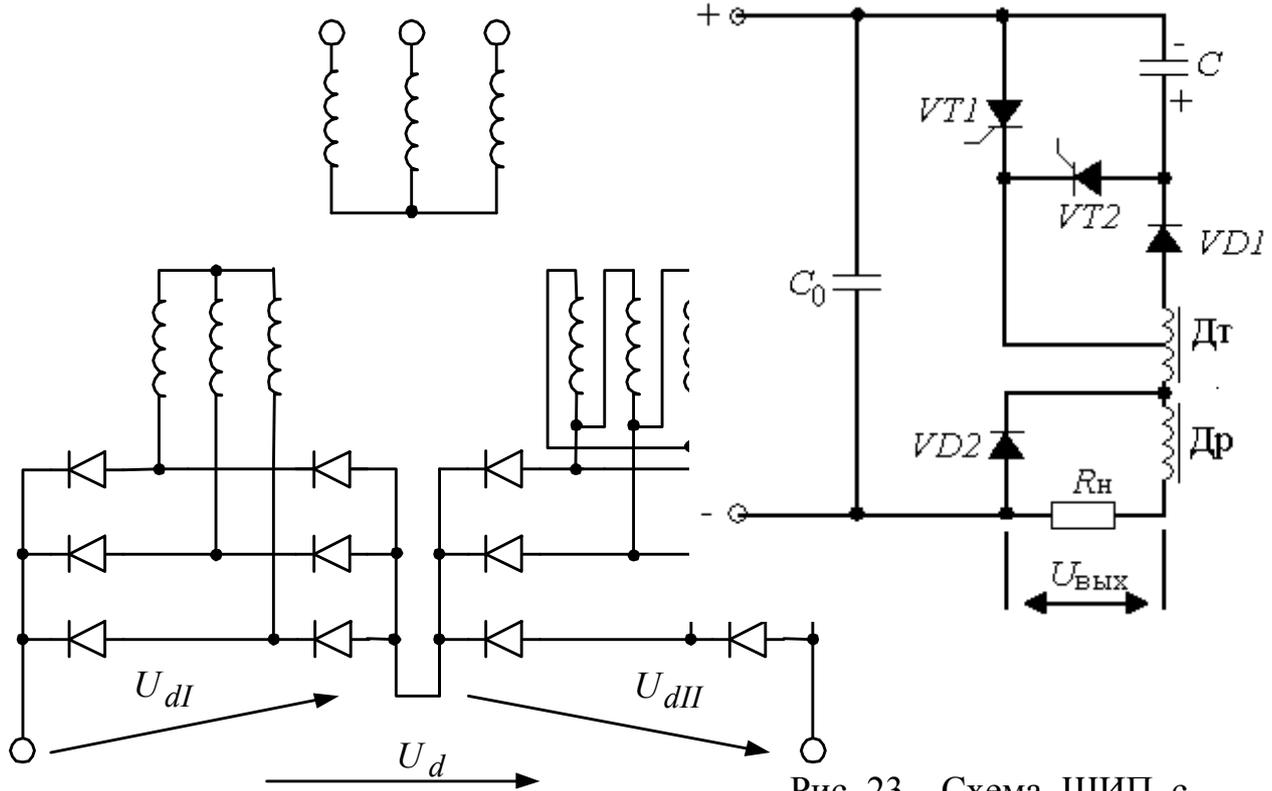


Рис. 21. Схема выпрямителя

Рис. 23. Схема ШИП с автотрансформаторной коммутацией

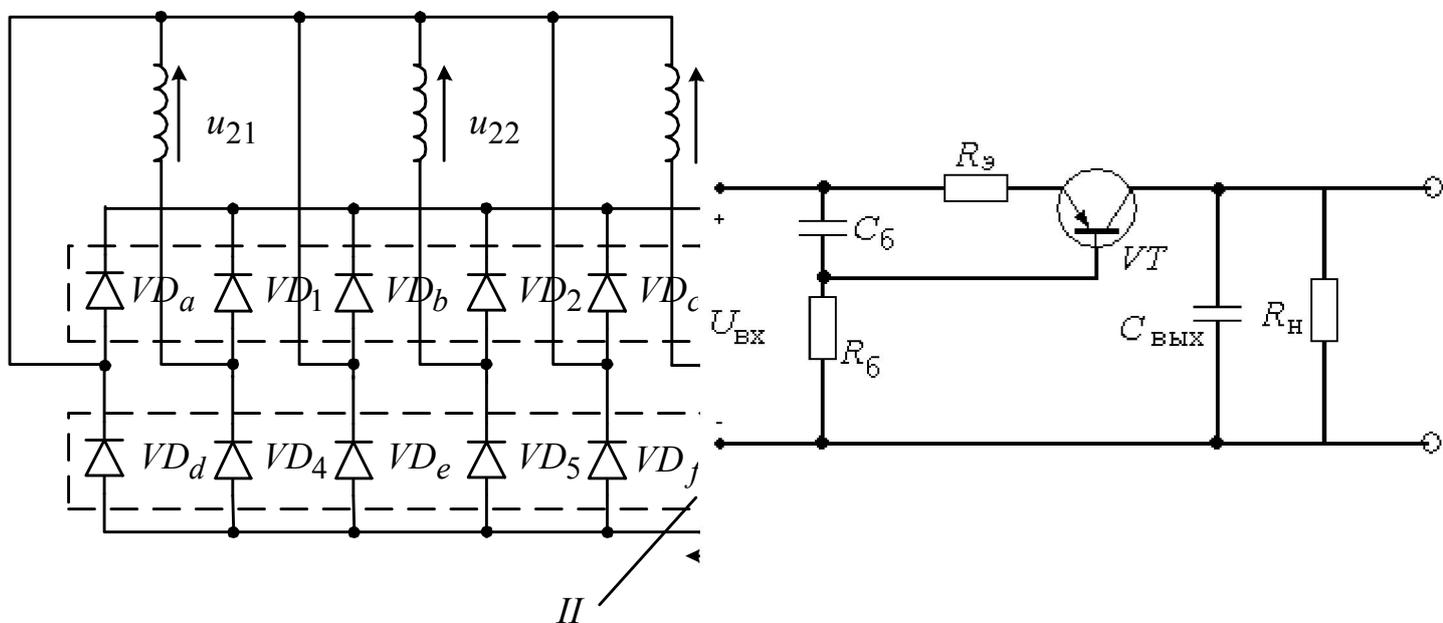


Рис. 22. Схема выпрямителя

Рис. 24. Схема транзисторного фильтра с нагрузкой в цепи коллектора с фиксированным смещением напряжения на базе

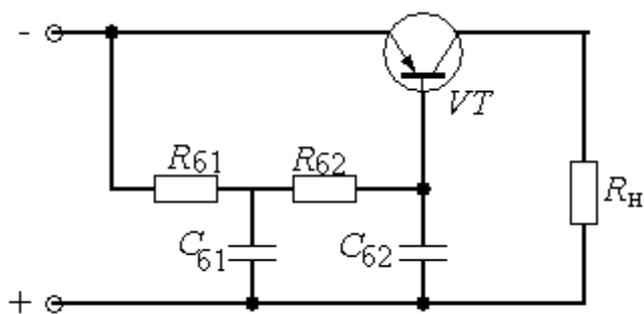


Рис. 25. Схема транзисторного фильтра с повышенным коэффициентом сглаживания с двухзвенной RC –цепочкой на входе

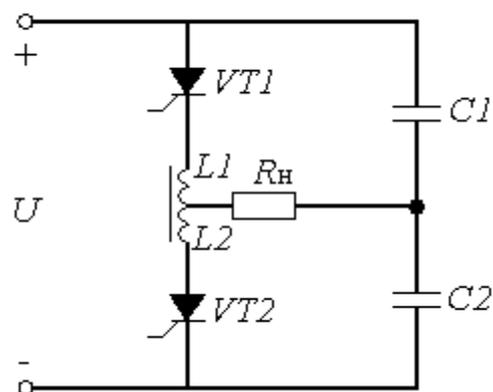


Рис. 27. Однофазный резонансный последовательный двухтактный инвертор

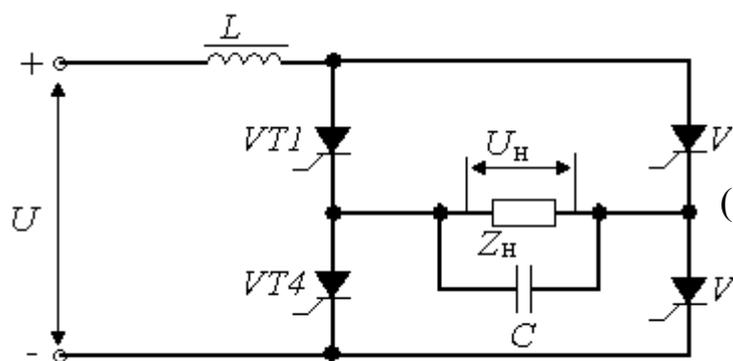


Рис. 26. Однофазная мостовая схема инвертора тока

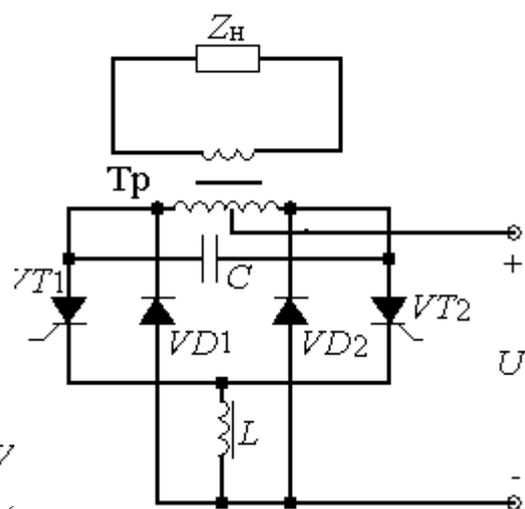


Рис. 28. Однофазный инвертор напряжения с нулевым выводом

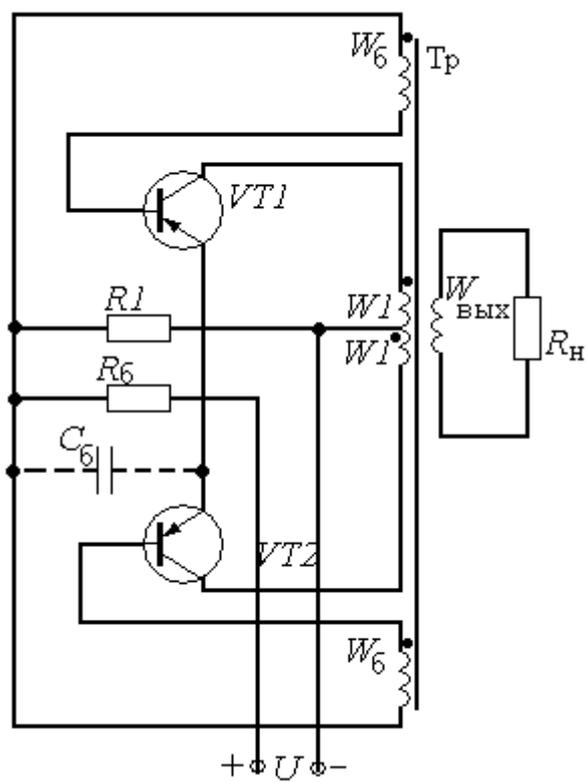
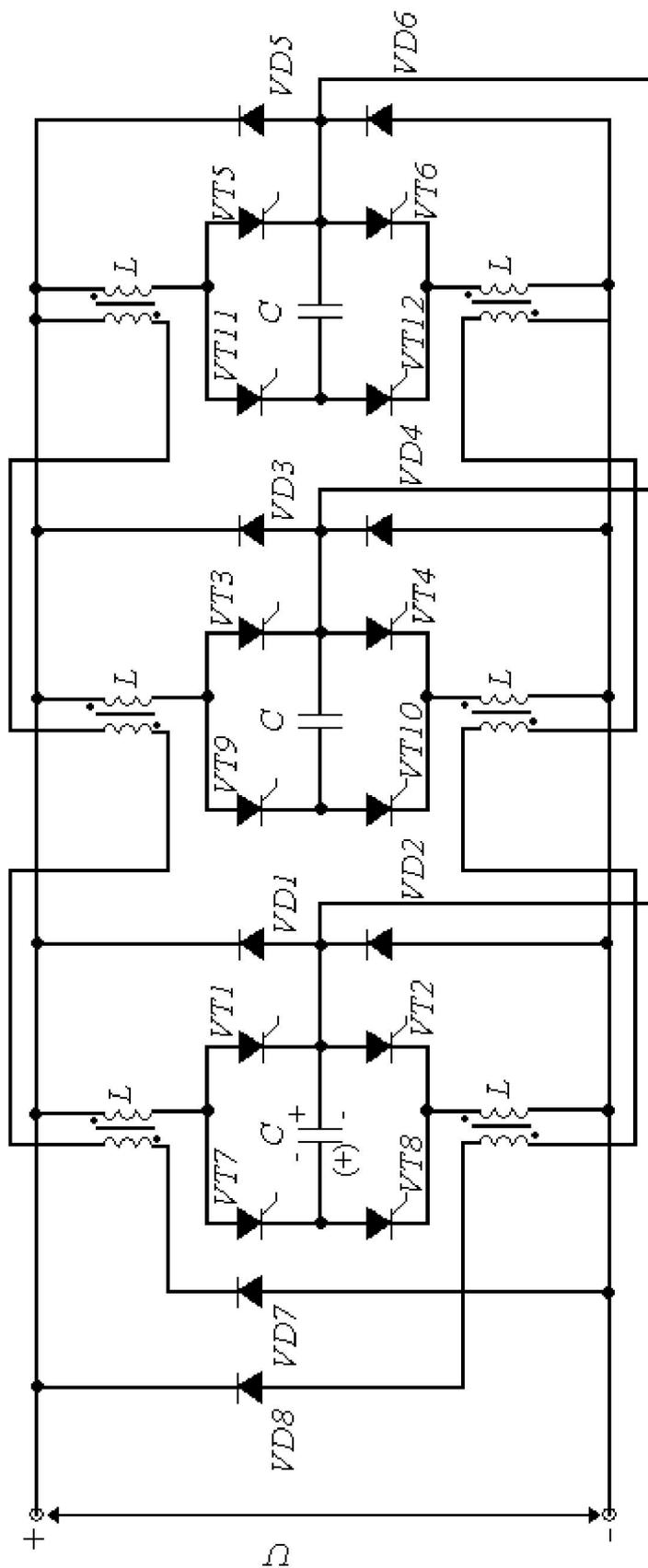


Рис. 29. Схема двухтактного преобразователя на транзисторах



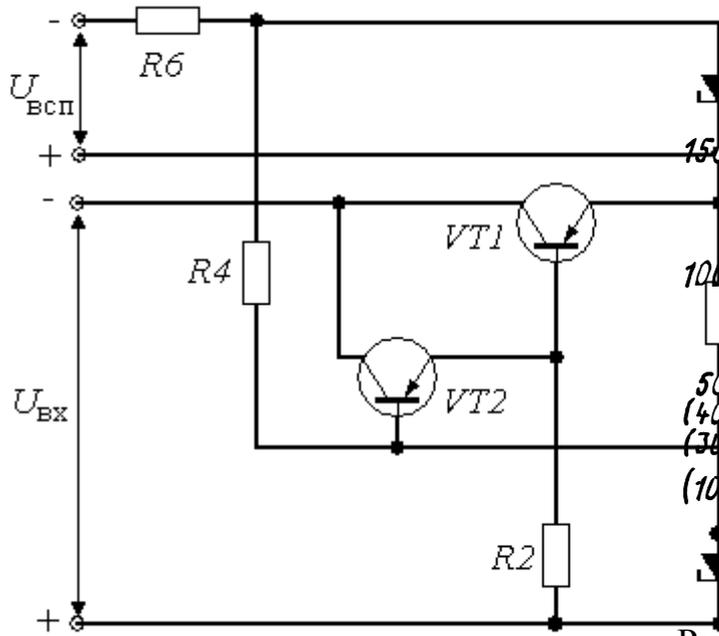


Рис. 31. Схема транзисторного компенсационного стабилизатора

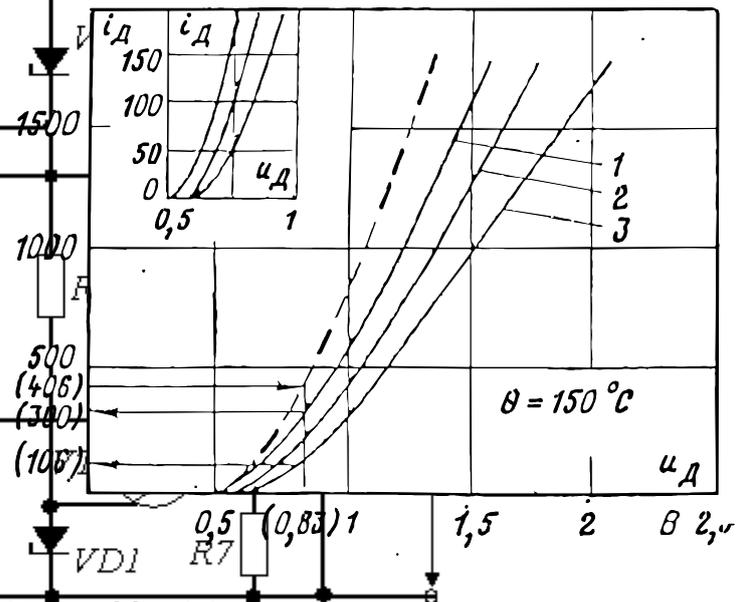


Рис. 33. Прямые вольт-амперные характеристики (сплошные линии) и результирующая двух экстремальных характеристик (пунктирная линия) диодов: 1-минимальная характеристика; 2-типовая характеристика; 3-максимальная характеристика

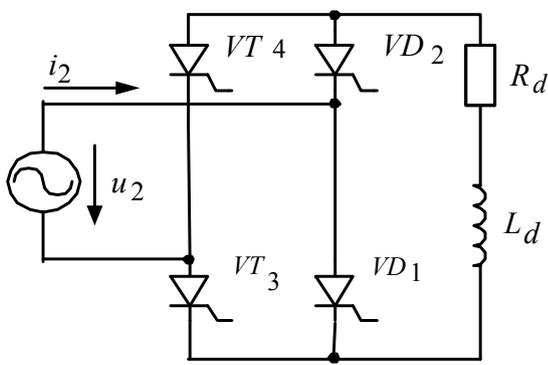


Рис. 32. Однофазный несимметричный мостовой выпрямитель (два диода VD_1 VD_2 и два тиристора VT_3 - VT_4)

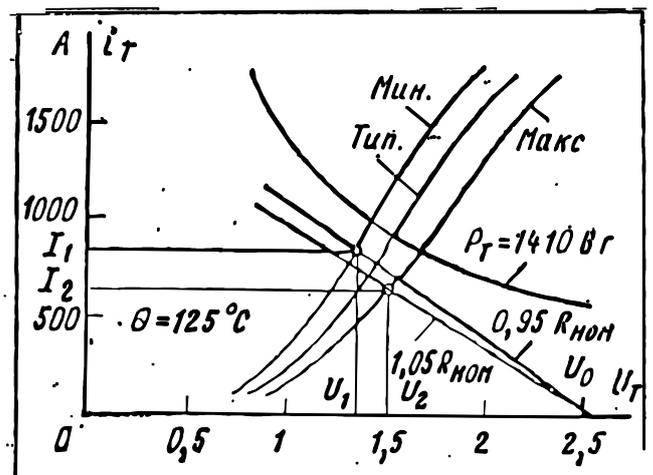


Рис. 34. Прямые вольт-амперные характеристики тиристоров

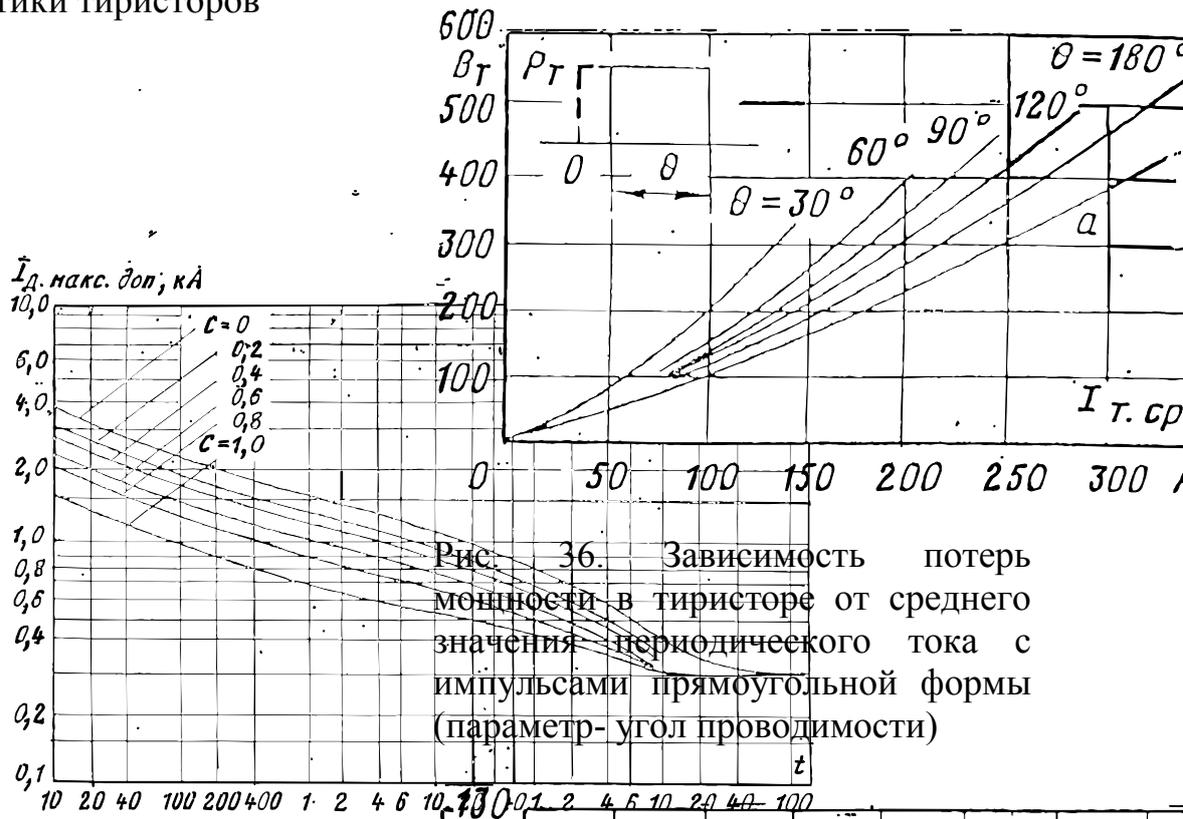


Рис. 36. Зависимость потерь мощности в тиристоре от среднего значения периодического тока с импульсами прямоугольной формы (параметр - угол проводимости)

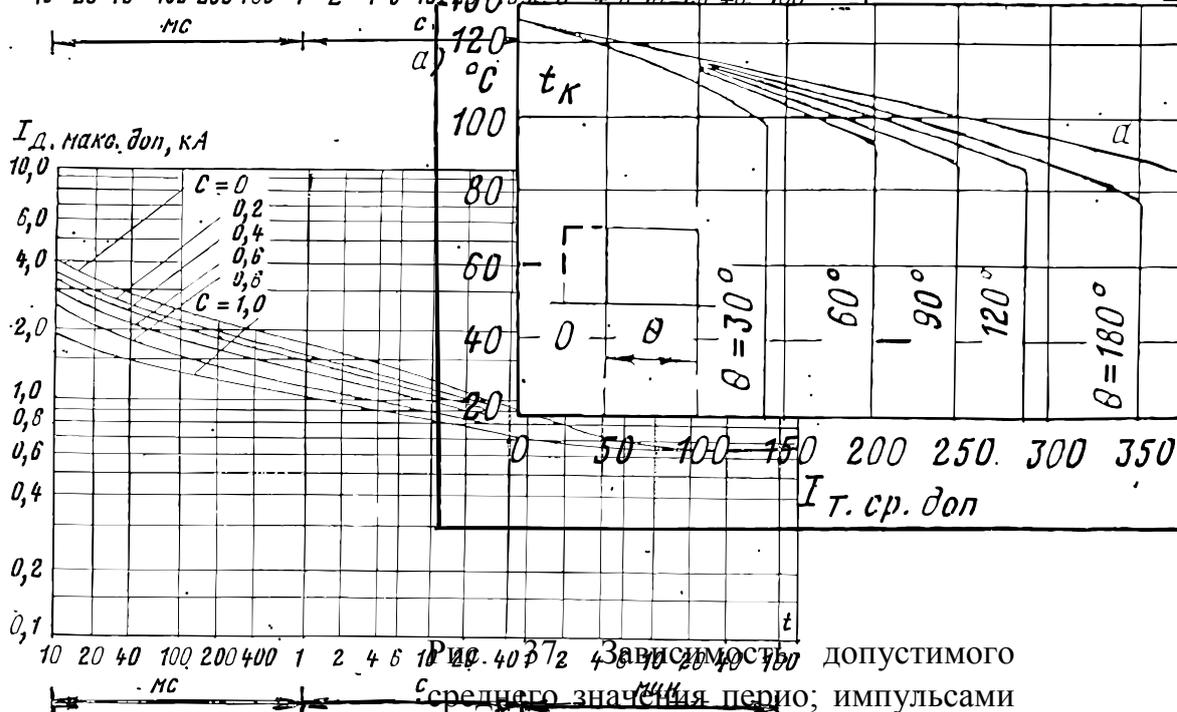


Рис. 35. Перегрузочные характеристики диодов (допустимые амплитуды подсинусоидального тока); C - угол относительная предшествующая нагрузка; а) - естественное охлаждение, температура окружающей среды 45°C ; б) - принудительное охлаждение при температуре 35°C (задача 41)

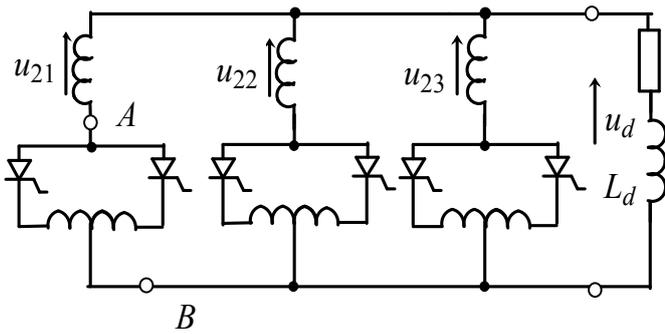


Рис. 38. Преобразователь со схемой 3Ф12П с магнитосвязанными индуктивными делителями тока

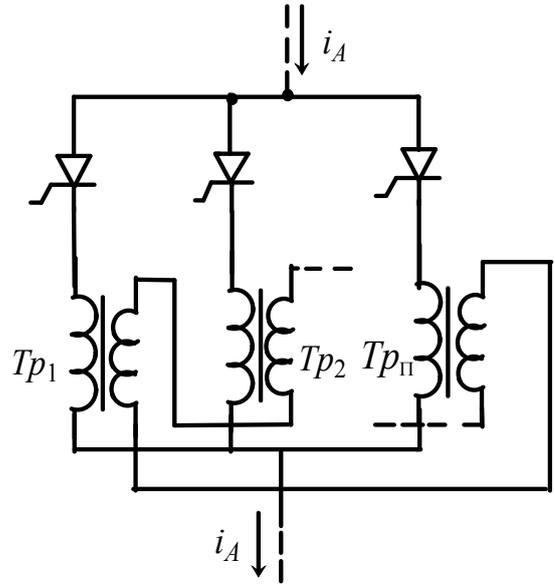


Рис. 40. Трансформаторный делитель тока

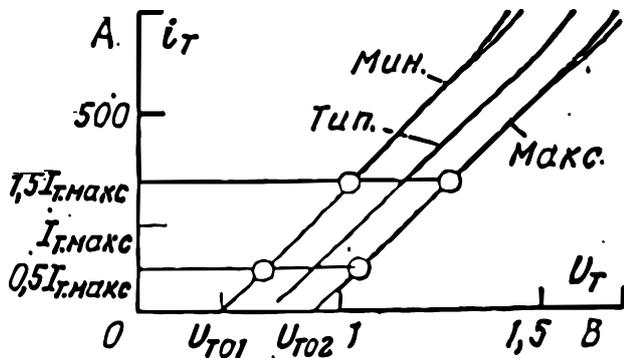


Рис. 39. Прямые вольт-амперные характеристики тиристоров

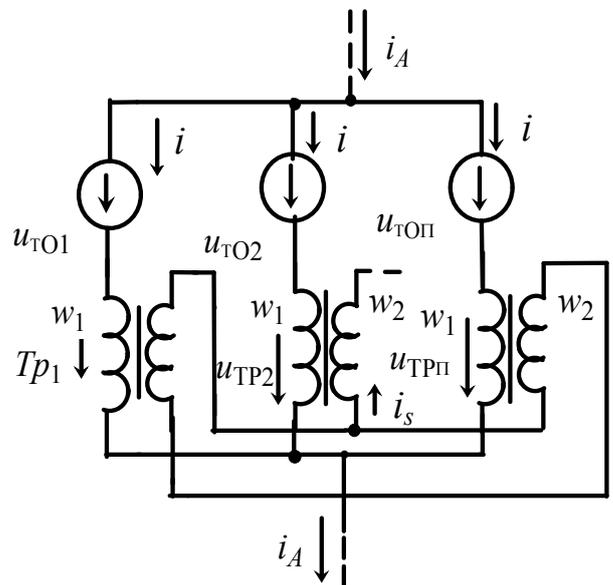
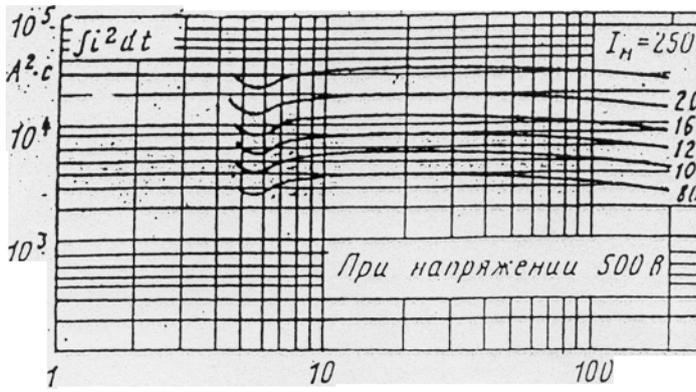
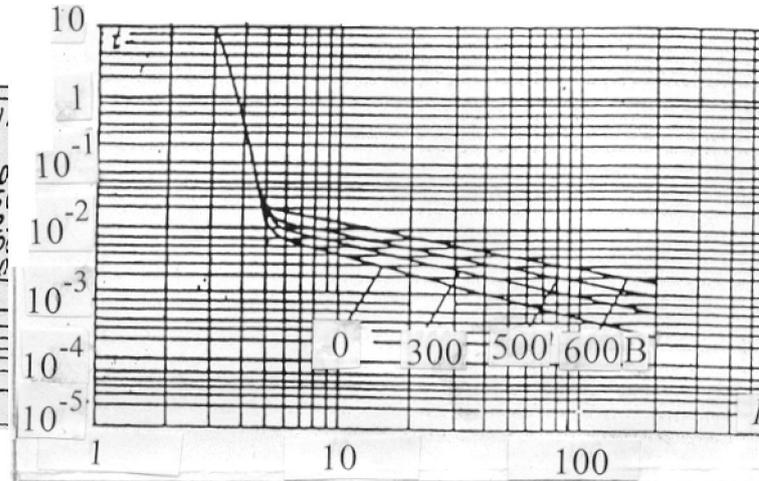


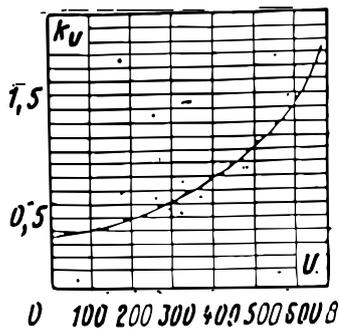
Рис. 41. Эквивалентная схема плеча с открытыми тиристорами, соединенными параллельно через трансформаторный делитель тока



а)



а)



б)

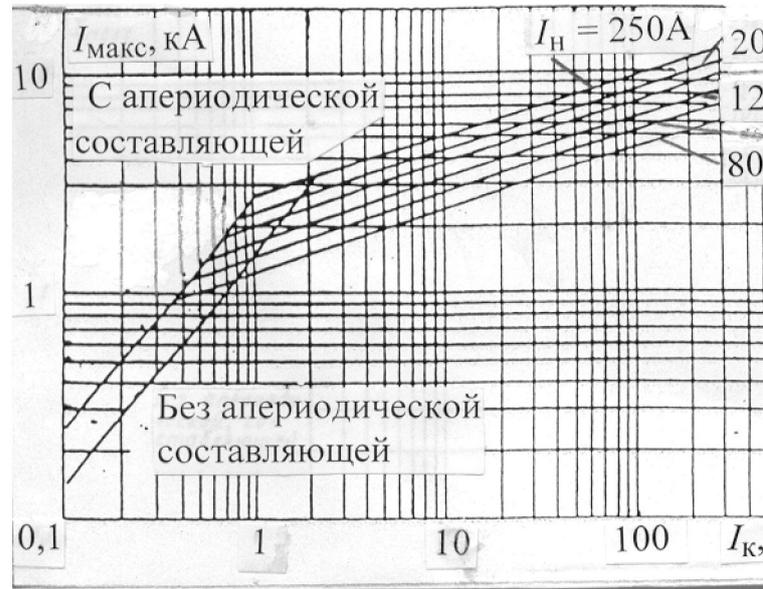


Рис. 43. Характеристики быстродействующих предохранителей: а) – зависимость времени срабатывания предохранителя от расчетного относительно действующего значения КЗ; б) зависимость тока срабатывания предохранителя от расчетного действующего значения тока КЗ

Рис. 42. Характеристики быстродействующих предохранителей: а) – зависимость интеграла квадрата тока $\int i^2 dt$. При котором срабатывает предохранитель, от расчетного относительно действующего значения тока КЗ; б) – зависимость поправочного коэффициента k_U от действующего значения напряжения

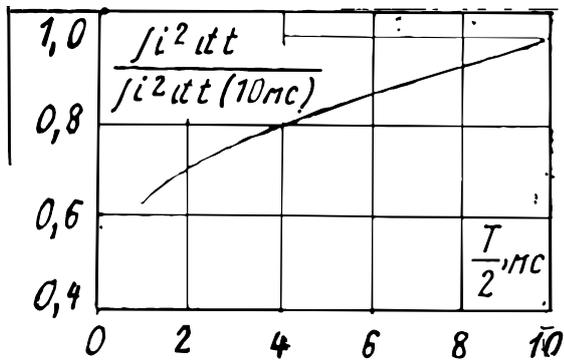


Рис.44. Зависимость поправочного коэффициента на допустимое для диодов значение $\int i^2 dt$ от длительности полупериода синусоидального импульса тока

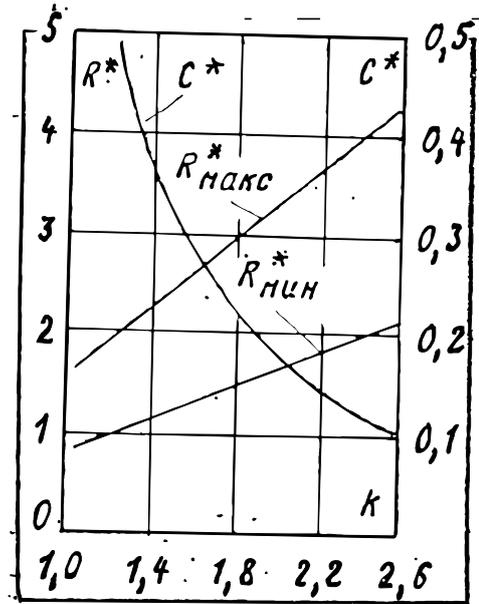


Рис. 45. Диаграммы для расчета RC-цепочек, защищающих от перенапряжений при отключении трансформатора

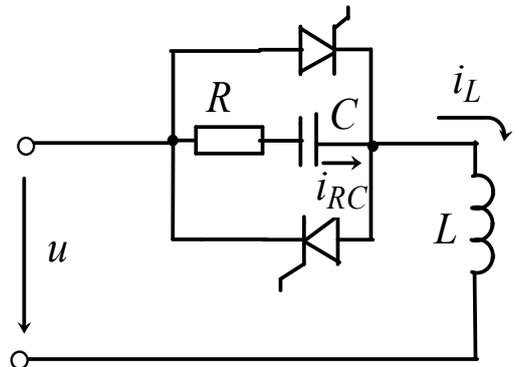


Рис. 46. Однофазная схема с встречно-параллельно включенными тиристорами, работающая на индуктивную нагрузку

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.С. Зиновьев. Основы силовой электроники. НГТУ, Новосибирск, 2001
2. Ф. Чаки. Силовая электроника. Примеры и расчёты. <http://www.oglibrary.ru>,

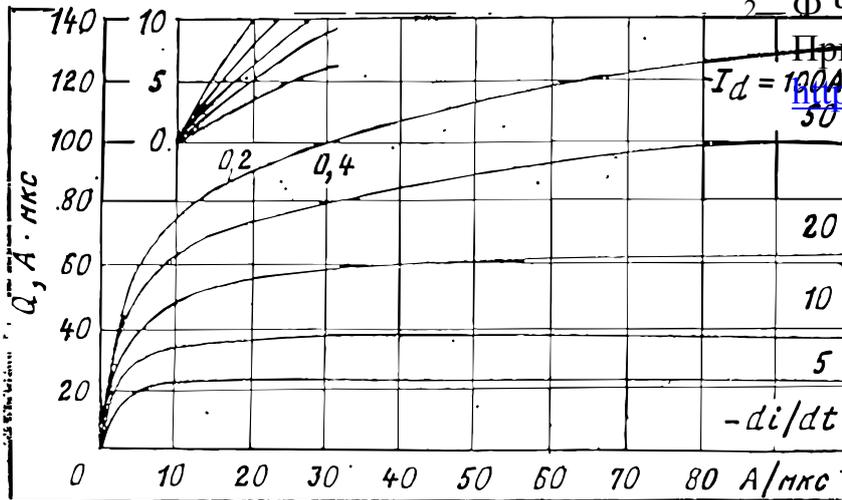


Рис. 47. Характеристики запасенного заряда в тиристорах