

# Лекция 10.

## 1. Структурные и принципиальные электрические схемы устройств для преобразования электрической энергии на постоянном и переменном токе (продолжение).

### 1. Регуляторы постоянно-постоянного тока.

Принцип работы регуляторов основан на дозировании подачи электрической энергии от источника потребителю, при котором потребитель кратковременно подключается к источнику, а затем – отключается. Время, в течение которого потребляется энергия, называется временем импульса  $t_u$ , а время отключенного состояния – время паузы  $t_n$ .

Рассмотрим в качестве примера принцип работы электронного регулятора постоянного тока на базе *SCR*-тиристора, запираение которого осуществляется при помощи емкостного накопителя энергии (см. рис. 12).

При подключении к источнику питания по цепи “+” (ИП)–  $C$  –  $L$  – “-” ИП протекает ток  $i_{\text{пит}} = i_C = i_{\text{нагр}}$ , заряжающий конденсатор  $C$  до напряжения источника питания с полярностью, указанной без скобок. После завершения процесса заряда ключ готов к работе. При отпирании тиристора  $VS$  в момент времени  $t_0$  образуется цепь питания нагрузки и через тиристор протекает ток  $i_{\text{пит}} = i_{\text{нагр}}$ . Одновременно образуется цепь разряда конденсатора  $C$ . Ток конденсатора  $i_C$ , протекая по цепи “+” обкладка конденсатора  $C$  – тиристор  $VS$  – дроссель  $L$  – “-” обкладка конденсатора  $C$ , сначала разряжает последний до нуля (момент времени  $t_1$ ), а затем перезаряжает до противоположной полярности (момент времени  $t_2$ ), указанной на рисунке в скобках. После перезаряда  $i_C$  становится равным 0 и к тиристорному прикладывается напряже-

ние обратной полярности, что приводит к его выключению.

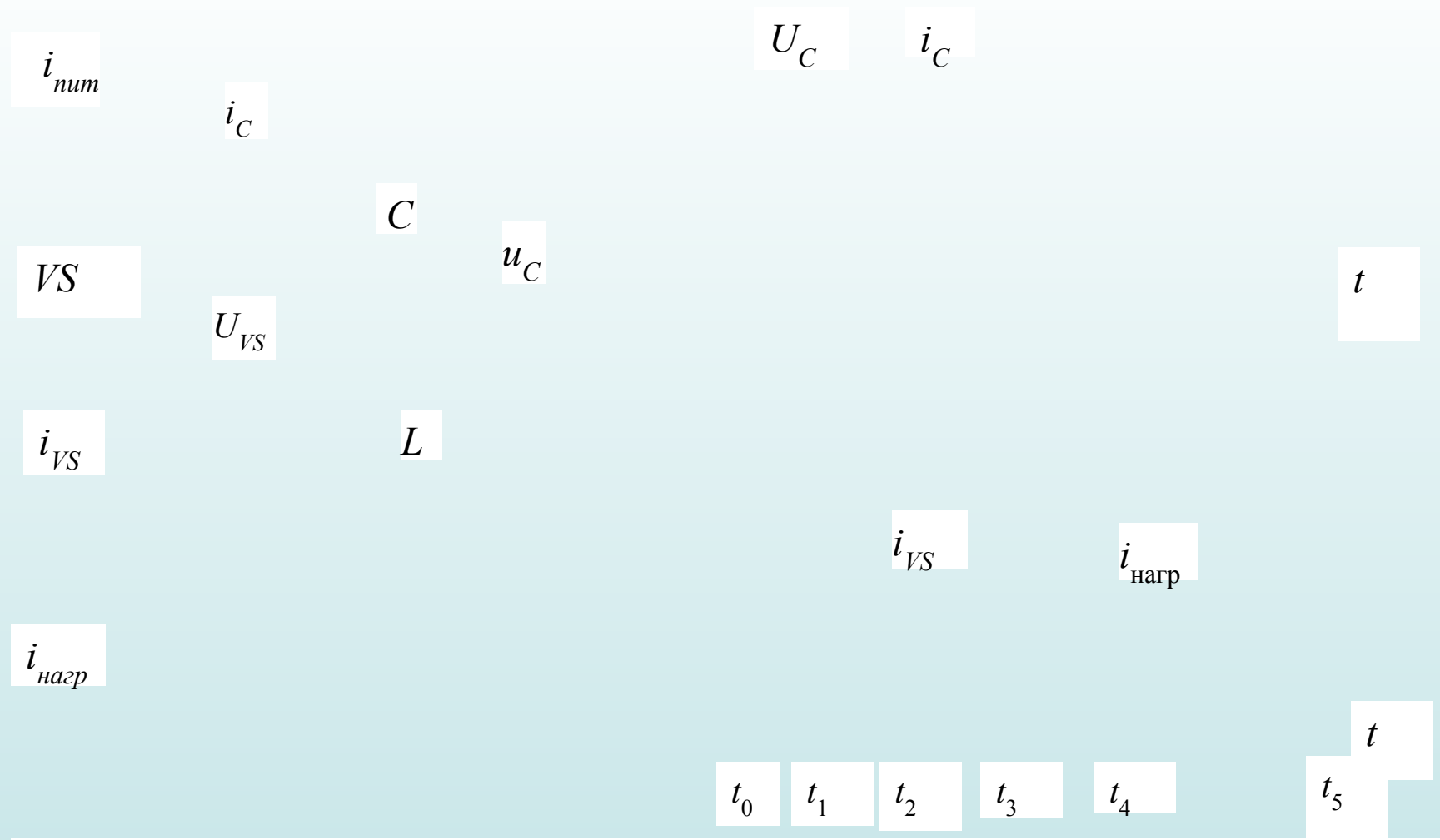


Рис. 12. Частотно-импульсный регулятор постоянного тока

Ток нагрузки, ранее протекавший через тиристор, коммутируется в цепь конденсатора  $C$  ( $i_{\text{нагр}} = i_C$ ), что приводит сначала к обнулению напряжения на конденсаторе (момент времени  $t_3$ ), а затем – к заряду до напряжения источника питания с полярностью, указанной без скобок (момент времени  $t_4$ ). Интервал времени от  $t_0$  до  $t_4$  называется временем импульса  $t_{\text{и}}$ . После этого ключ готов к повторному циклу.

Приведенная схема обеспечивает постоянство времени проводящего состояния тиристора ключа, т. е. соответствует частотному способу регулирования.

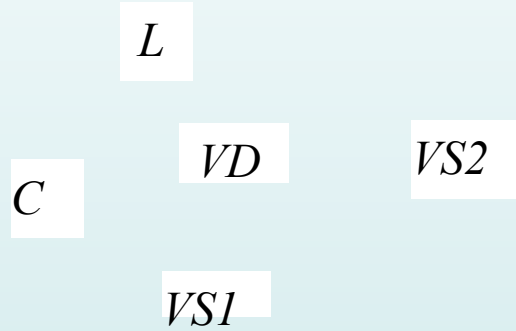


Рис. 13. Широтно-импульсный регулятор постоянного тока

Изменения времени проводящего состояния ключа можно добиться путем запрета выключения тиристора после перезаряда коммутирующего конденсатора. До-стичь этого можно схемным решением, пример которого приведен на рис. 13. После перезаряда коммутирующе-го конденсатора до противоположной полярности (мо-мент времени  $t_3$  на рис. 12) разряд его через цепь на-грузки

станет возможным только после того, как произойдет отпирание тиристора  $VS2$  (гасящего). Длительность задержки на включение гасящего тиристора не должна превышать интервала времени  $\Delta t = t_5 - t_4$ , называемого временем паузы  $t_{\text{п}}$ . На рис. 12 пунктирной линией показано изменение диаграммы напряжения на коммутирующем конденсаторе для некоторого времени задержки  $t_{\text{зад1}}$ . Соответственно изменяются диаграммы  $i_C = f(t)$  и  $i_{\text{нагр}} = \varphi(t)$ .

Приведенная схема обеспечивает изменение времени проводящего состояния тиристора  $VS1$  ключа (ширины импульса) при сохранении периода, т. е. соответствует широтному способу регулирования.

## Трансформаторы.

Наличие большого количества потребителей электрической энергии на переменном токе, рассчитанных на питание от источников с разным уровнем напряжения, привело к необходимости согласования питающего напряжения с напряжением потребителя. В качестве согласующего устройства между источником и потребителем выступают преобразователи уровня питающего напряжения – трансформаторы. Наибольшее распространение в быту получили однофазные трансформаторы, на производстве – многофазные (в подавляющем большинстве – трёхфазные). Конструктивно трансформаторы выполняются в виде сердечника из магнитного материала, на котором размещаются обмотки: первичные (как правило, одна) и вторичные (как правило, несколько). В качестве примера на рис. 5...7 приведены принципиальные электрические схемы одно- и трехфазного трансформаторов.

Принцип работы трансформаторов независимо от количества фаз заключается в следующем. При подаче на первичную обмотку трансформатора питающего напряжения в ней начинает протекать ток, создающий магнитное поле в сердечнике.

Переменное магнитное поле наводит во вторичной обмотке трансформатора ЭДС, величина которой зависит от параметров первичной и вторичной обмоток (от количества витков в них). При подключении к вторичной обмотке потребителя величина приложенного к нему напряжения  $U_2$  связана с величиной питающего напряжения  $U_1$  соотношением  $U_2 = U_1 w_2 / w_1$ .

Одной из разновидностей трансформаторов, позволяющей при постоянной величине питающего напряжения получать на выходе дискретно меняющееся выходное, является

автотрансформатор (см. рис. 14).

$U_{вх}$

$U_{вых}$

Рис. 14. Автотрансформатор

## Трансформаторные преобразователи количества фаз.

В некоторых случаях преобразование электрической энергии переменного тока связано не только с согласованием источника и потребителя по уровню напряжения, но и с изменением количества фаз. В настоящее время известно несколько схемных решений преобразователей подобного рода. В качестве примера рассмотрим принцип преобразования двухфазного ортогонального напряжения в трехфазное на базе двух трансформаторов, приведённую на рис. 15 (схема Ч.Ф.Скотта). Преобразователь выполнен на двух трансформаторах, каждый

из которых содержит первичную и вторичную обмотки. Отличия трансформаторов заключаются в том, что у трансформатора  $T_1$  вторичная обмотка имеет отвод от середины (точка  $D$ ), а сами обмотки имеют разное количество витков. При этом  $w_A = w_B$ . Ортогональность питающих напряжений  $U_1$  и  $U_2$ , показанная на рисунке в координатных осях (“+j” – “+1”), обеспечивает ортогональность выходных напряжений  $U_{AB}$  и  $U_{CD}$ .

Рис. 15. Схема преобразователя Скотта

Отложенные на вещественной оси векторы напряжений  $U_{BD}$  и  $U_{DA}$  вторичных полуобмоток  $w_A$  и  $w_B$  трансформатора  $T1$  образуют с восстановленным из точки  $D$  вектором напряжения  $U_{CD}$  вторичной обмотки трансформатора  $T2$  треугольник напряжений ABC. Подбором количества витков вторичных обмоток трансформаторов можно добиться равенства длин векторов линейных напряжений  $U_{AB}$ ,  $U_{AC}$  и  $U_{BC}$ . Подключенная к выходным клеммам A, B, C преобразователя нагрузка образует трехфазную цепь.

Преобразователь обладает свойством обратимости, т.е. при питании его трёхфазным напряжением со стороны нагрузки на входе получается два однофазных источника напряжения со сдвигом по фазе в  $90^\circ$  эл.

Преобразования трёхфазного напряжения в двухфазное можно добиться и на одном трансформаторе. Принципиальная электрическая схема цепей ТПЧФ, разработанная Лебланом, приведена на рис. 16. Принцип преобразования поясняется векторными диаграммами, приведёнными на этом же рисунке. Отличительной особенностью трансформатора является то, что формирование напряжения  $U1$  осуществляется при помощи двух обмоток  $w1$ , рас-

Рис. 16. Схема преобразователя Леблана

положенных на стержнях фаз А и С трансформатора, а напряжения  $U_2$  – на стержнях всех трёх фаз. При этом обмотки стержней фаз А и С имеют одинаковое количество витков ( $w_3$ ), а стержня фазы В –  $w_2 \neq w_3$ . Кроме того, начала и концы всех обмоток для формирования ортогональности векторов напряжений  $U_1$  и  $U_2$ , соединяются так, как это показано на рисунке 49.

Построение вектора  $U_1$  начинается с нанесения вектора  $U_a$  на ось ординат в координатных осях (“+j” – “+1”). Поскольку направления напряжения и тока в обмотке  $w_1$  фазы А совпадают также, как и в обмотке  $w$  первичной цепи, то направление вектора  $U_a$  совпадает с направлением вектора  $U_A$ . В обмотке  $w_1$  фазы С направления напряжения и тока противоположны. Поэтому направление вектора  $U_c$  – противоположно по отношению к вектору  $U_C$ . Начало вектора  $U_C$  совпадает с концом вектора  $U_a$ . Начало координат и конец вектора  $U_C$  образуют вектор напряжения  $U_1$ .

Аналогично определяется направление и длина вектора  $U_2$ . При этом направления векторов  $U_a$  и  $U_c$  противоположны направлениям векторов  $U_A$  и  $U_C$ , а направление вектора  $U_b$  совпадает с направлением вектора  $U_B$ .

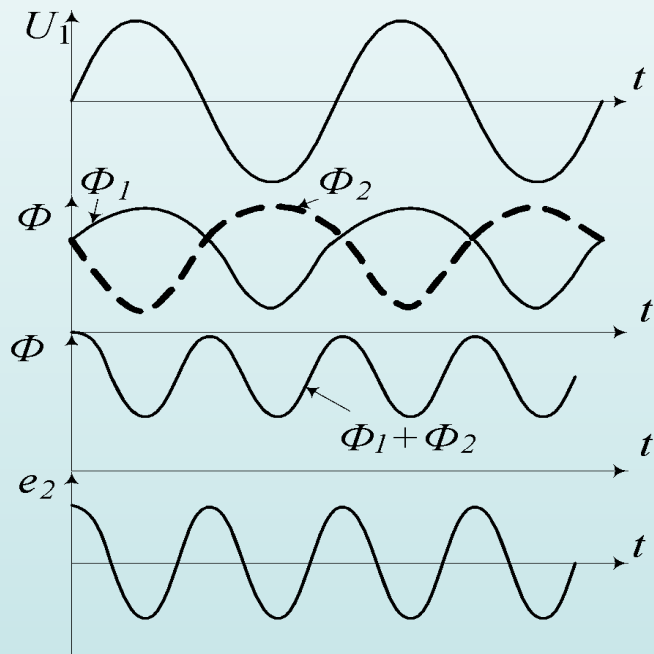
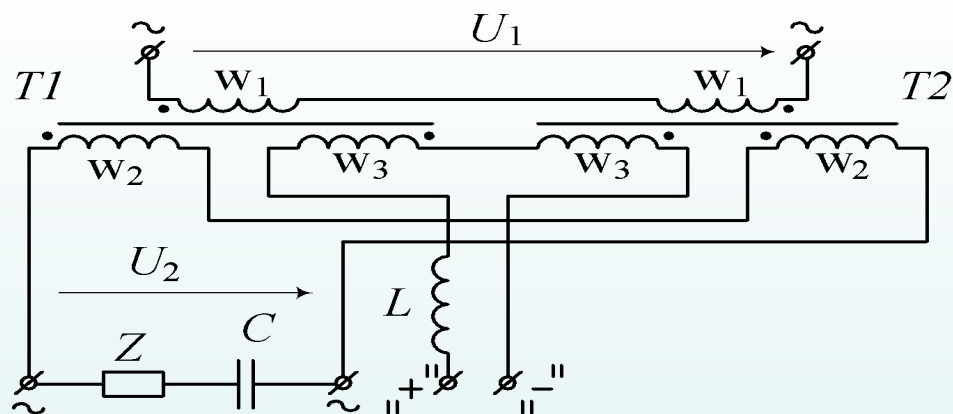


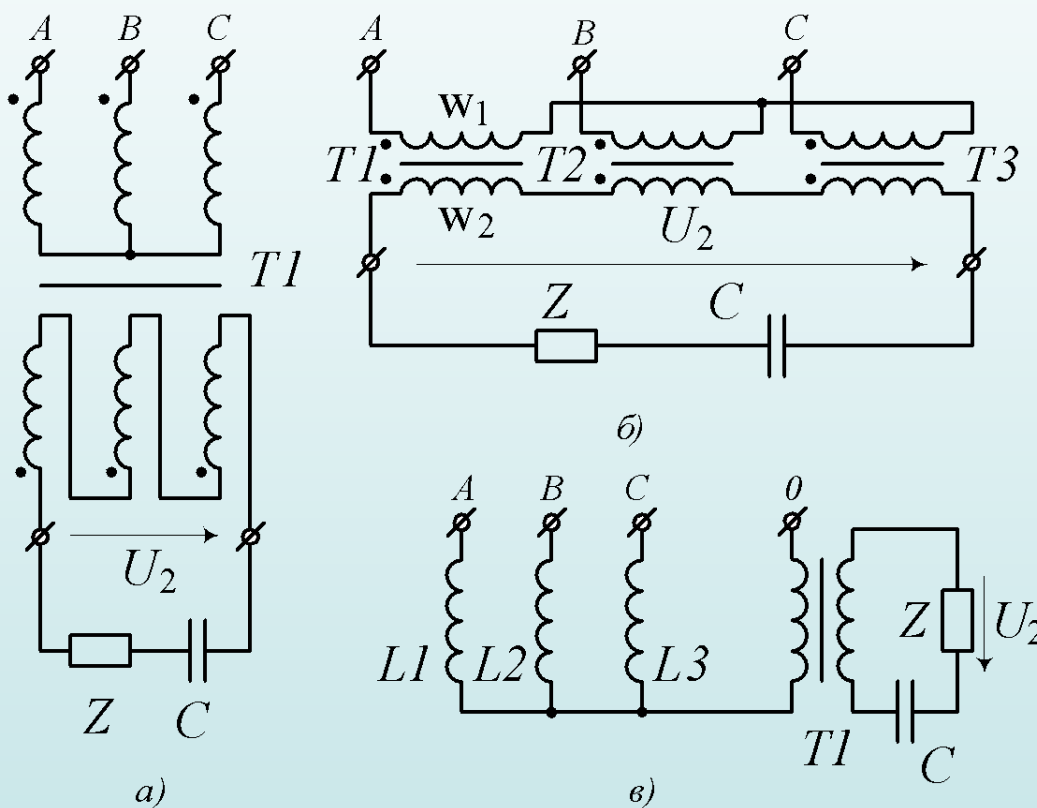
Рис. 17. Схема удвоителя частоты на трансформаторах

На диаграммах, приведённых на рис. 17 показаны кривые, соответствующие состоянию намагничивания в первом полупериоде трансформатора  $T1$ . В результате действия суммарной МДС кривая потока  $\Phi_1$  приобретает уплощённую форму, а в трансформаторе  $T2$  – поток существенно уменьшается в кривой  $\Phi_2$  образуется провал. Во втором полупериоде формы кривых потоков в трансформаторах меняются. Таким образом кривые потоков обоих трансформаторов имеют несимметричную форму, а следовательно, содержат как чётные, так и нечётные гармоники.

При встречном включении первичных обмоток индуцируемая в них результирующая ЭДС  $e_1$ , уравнивающая прикладываемое к ним напряжение  $U_1$ , создаётся разностью потоков  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ . Эта разность изменяется с частотой  $f_1$  питающего напряжения и не содержит чётных гармоник. Результирующая ЭДС, индуцированная в соединённых согласно вторичных обмотках, создаётся суммой потоков  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , которая не содержит нечётных гармоник. Поэтому



результатирующая ЭДС и выходное напряжение  $U_2$  определяются в основном второй гармоникой потоков  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , т.е. изменяются с удвоенной частотой  $f_2=2f_1$ . Амплитуду выходного напряжения  $U_2$  можно регулировать, изменяя силу тока подмагничивания. Для того, чтобы по обмоткам подмагничивания не протекали переменные токи, созданные чётными гармониками ЭДС, в цепь их питания включается дроссель  $L$ .



Принцип работы преобразователей для утроения частоты питающего напряжения на нагрузке, выполненных на базе трансформаторов, основан на использовании третьей гармоники, возникающей при насыщении сердечников трансформаторов, подключённых к трёхфазной сети.

На рис. 18а приведена принципиальная электрическая схема трёхфазного трансформаторного преобразователя для утроения частоты, подключение нагрузки ко вторичным обмоткам которого осуществляется по схеме «разомкнутый треугольник». При соединении вторич

Рис. 18. Схемы утроителей частоты на трансформаторах  
 ных обмоток трансформатора по такой схеме третьи гармоники ЭДС отдельных фаз совпадают по времени, циркулируя при этом с тройной частотой. Для получения большей амплитуды третьей гармоники сердечники трансформатора выполняются насыщенными.

Тот же результат получается при использовании трёх однофазных трансформаторов (см. рис. 51б) или одного однофазного трансформатора и трёх дросселей с насыщающимися сердечниками, соединёнными по схеме рис. 51в. Ток в каждом из дросселей преобразователя, выполненного по последней схеме, несинусоиден и содержит значительную по величине третью гармонику. В нулевой точке сумма токов питающей частоты равна нулю, а токи утроенной частоты, протекающие по первичной обмотке трансформатора складываются. Поэтому во вторичной обмотке трансформатора индуцируется ЭДС тройной частоты. Для компенсации падения напряжения в трансформаторе из-за утроенной частоты в цепи нагрузки включается конденсатор  $C$ .