

Краткое напомним, что в конце предыдущей лекции мы изучали реверсивные преобразователи. Под реверсией понимают изменение чего-либо на противоположное. Если иметь в виду двигатель, то реверс означает вращение в другую сторону. Напряжение реверсируется даже в нереверсивном преобразователе. Для того чтобы ток был реверсивным нужно как минимум два комплекта вентиля. В классификации реверсивных преобразователей в первом классе были преобразователи с одной группой вентиля. Переключение тока происходило посредством переключения полюсов нагрузки с полюсами питания. В истинно реверсивных преобразователях существуют две группы вентиля.

0.0.1 перекрестная схема

исторически самая первая.

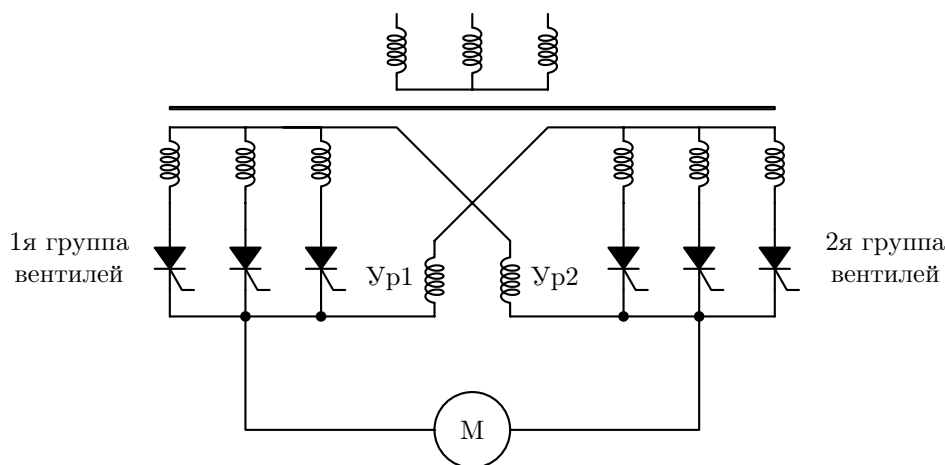
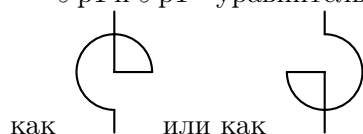


Рис. 1: перекрестная схема реверсивного преобразователя

Y_{p1} и Y_{p2} – уравнивающие реакторы. Силовые индуктивности рисуются



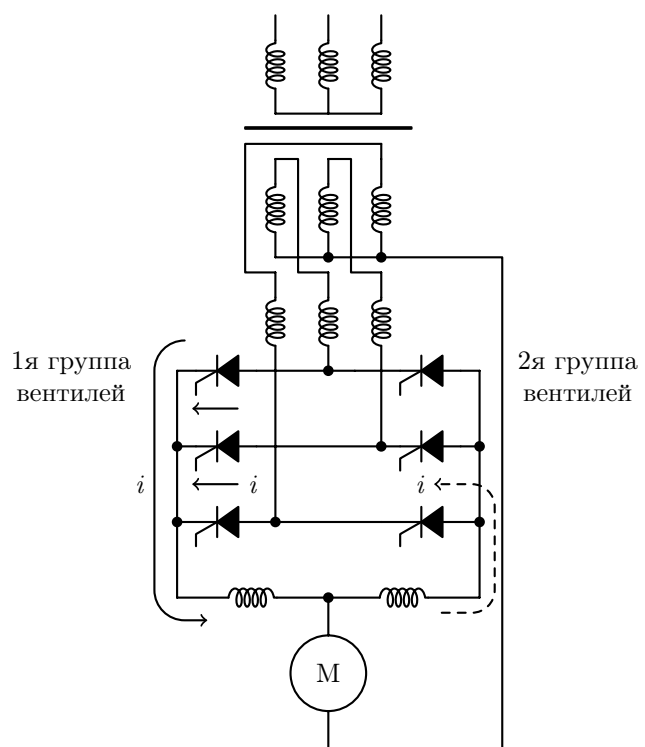


Рис. 2: встречно-параллельная схема

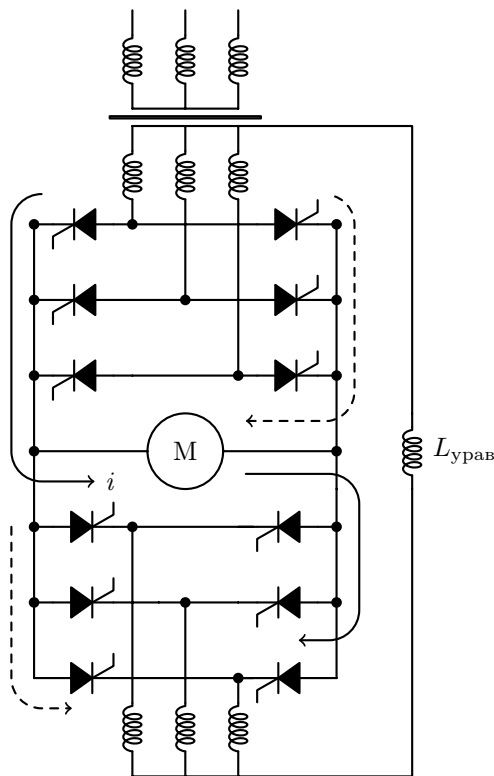


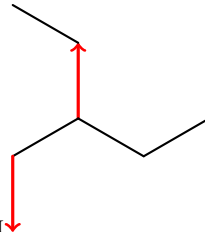
Рис. 3: Н-схема

Все схемы изображены для случая трёхфазной нулевой схемы. На примере одной схемы разберём как различаются схемы по признакам классификации. Перекрестная схема состоит из двух групп вентилей, каждая из которых питается от 3х индивидуальных обмоток трехфазного трансформатора. Вторая схема. Если управлять вентилями с одинаковым α то получим К.З. на индуктивность. Первая группа вентилей проводит сверху вниз, другая группа вентилей проводит снизу вверх. Питается от одного комплекта вентильных обмоток.

Всякий раз когда появляется нулевая схема вентилей трансформаторные обмотки соединяются в зигзаг во избежание вынужденного намагничивания трансформатора.

Возвращаясь к первой схеме реверс это реверс тока, не обязательно реверс скорости, но обязательно реверс момента. Если нужно реверсировать момент, то нужно применять реверсивный преобразователь. Прокатные станы производят металлический лист для автомобилей. Нужно регулировать скорость, нужно регулируемое торможение. Ток идет по первой группе вентилей, затем по мотору, затем через $U_{р2}$. Вторая обмотка не работает! В трансформаторе ток течет в одну сторону, подмагничивает сердечник постоянным током. Если есть 3-х фазный трансформатор с 3мя штыревыми сердечниками на каждом сердечнике ток течёт в одну сторону. Как

преодолеть подмагничивание трансформатора? Рассмотрим схему 2. Ток дотёк до трансформатора и разделяется на 2 обмотки. Ток протекает по



обмоткам создавая МДС в обе стороны. 2 обмотки зигзага работают в разные стороны. Для преобразователя малой мощности можно использовать схемы звезда или треугольник. Для преобразователя большой мощности используют зигзаг. Есть альтернатива для того чтобы избежать подмагничивания: можно увеличить количество железа в трансформаторе,

а можно увеличить количество меди соединив обмотки в зигзаг. Векторное сложение МДС даст $\sqrt{3}$ при соединении обмоток в зигзаг, а

если соединить последовательно получилось бы увеличение в 2 раза. В зигзаге получил примерно 15% снижение возможного напряжения. Меди намотал на 200вольт, а получил 173вольта. Одним из условий борьбы с вынужденным намагничиванием, чтобы ток протекал в обе стороны. Из-за этого МДС будет направлена в разные стороны.

3-я схема. Ток протекает как нарисовано на схеме. Обмотки можно





перевернуть как в зигзаге можно не переворачивать

Реактор здесь один – L . Если ток течёт слева направо то половина вентиля не работает. Вентильная группа ВГ₂ обеспечивает протекание тока в другую сторону. Ток по обмоткам трансформатора будет протекать в том же направлении. В обратную сторону протекает ток обозначенный штриховкой.

1я схема) 2 набора обмоток и две вентильные группы. Каждый набор обмоток на свою вентильную группу.

2я схема) Один набор обмоток на две группы вентиляей.

3я схема)

1й набор обмоток  1я группа вентиляей
2й набор обмоток  2я группа вентиляей

Первая схема применялась с ионными вентилями. В то время применялись схемы с общим катодом. Два бака катодов не применялось. С тиристорными

вентильями применялась вторая схема. Один комплект обмоток лучше чем два.

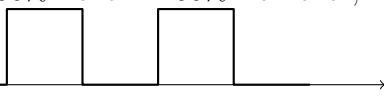
Если считать что в каждом направлении машина работает 50мин - 1 час, то считается что машина работает долго. Габариты удваиваются $\frac{S_1 + S_2}{2}$. В длительном режиме суммарная мощность трансформатора увеличивается в полтора раза. Сошность обмотки определяет расход меди. Первичная обмотка всегда входит с коэффициентом 100%.

$$S_{\text{трансформатора}} = \frac{S_1 + S_2}{2}$$

Если в каждом направлении длительно работать, то $S \approx 1.5S_{\text{нагрузки}}$, но так не говорят для постоянного тока, говорят $= 1.5P_{\text{нагрузки}}$

$[S] = VA(kVA)$, а мощность нагрузки киловатты $S_{\text{трансформатора}} = 1.5kP_{\text{нагрузки}}$, где k зависит от коэффициента мощности и от ... (коэффициента формы?)

Если включение кратковременное м 50% течёт и 50% не течёт, то

среднеквадратичное включение $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 

$$S_{\text{трансформатора}} = \frac{1 + 2\frac{1}{\sqrt{2}}}{2} \approx 1.205kP_{\text{нагрузки}}$$

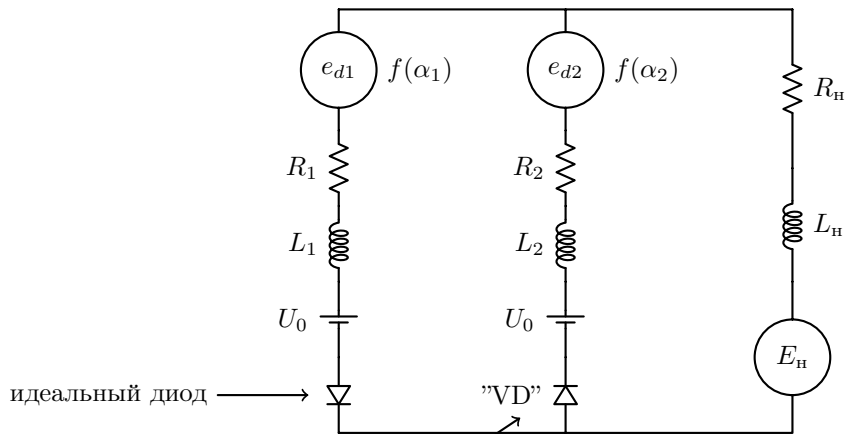
В любом случае в первой схеме больше потерь чем второй. Это главный недостаток перекрёстной схемы. Третья схема: сделать выводы из трансформатора – конструкция получается более сложная.

Классификация по способу управления – совместное управление группами вентилей и раздельное управление группами вентилей. Рассмотрим схему два. Ток не будет протекать справа – раздельное управление. По реализации оно сложнее. Включается инверторный режим, возникает опрокидывание.

Если не отключать вентили, а регулировать

$$\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2?$$

0.0.2 Эквивалентная схема замещения реверсивного тиристорного преобразователя



все его параметры вошли в элементы выше выше

Вторая вентильная группа U_0, L_2, R_2

Предполагаем

$$L_1 = L_2 = L$$

$$R_1 = R_2 = R$$

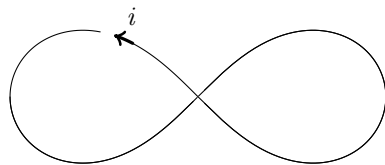
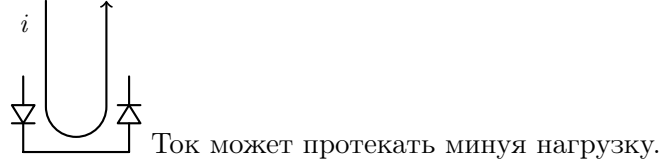
$$\underbrace{e_{d1}}_{\text{мгновенное значение}} = \underbrace{E_{d0} \cos \alpha_1}_{\text{среднее значение выпрямленного ЭДС}} + \underbrace{e_{d1\sim}}_{\text{добавили пульсации}}$$

$$e_{d2} = E_{d0} \cos \alpha_2 + e_{d2\sim}$$

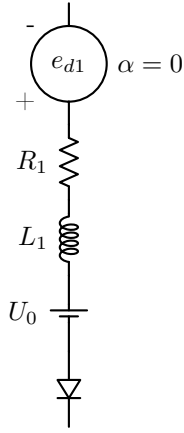
Чему равны E_{d01} и E_{d02} в первой схеме? Мы полагаем, что если α неодинаковые, то пульсации неодинаковые.

Если раздельное управление?

А почему α разные.



В первой схеме протекает уравнительный ток, нежелательный, может быть неприемлемо большой, аварийно-опасный.



Условие отсутствия уравнительного тока $e_{d1} + e_{d2} \leq 0!$
при пренебрежении U_0 .

$$e_{d1} + e_{d2} \leq 2U_0$$

$$E_{d0}(\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2) + e_{\text{уравнительное}} \leq 2U_0$$

где $e_{\text{уравнительное}} = e_{d1\sim} + e_{d2\sim}$

Можно записать отдельно условия отсутствия уравнительного тока:

Переменная составляющая уравнительного тока должна быть $\leq 2U_0$

и постоянная составляющая уравнительного тока должна быть $\leq 2U_0$.

Для постоянной составляющей

$$E_{d0}(\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2) \leq 2U_0 \Rightarrow \cos\alpha_1 + \cos\alpha_2 \leq \frac{2U_0}{E_{d0}}$$

Если $\frac{2U_0}{E_{d0}} \approx 0$ тогда пишем для случая равенства 0:

$$2\cos\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \cdot \cos\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2} \leq 0$$

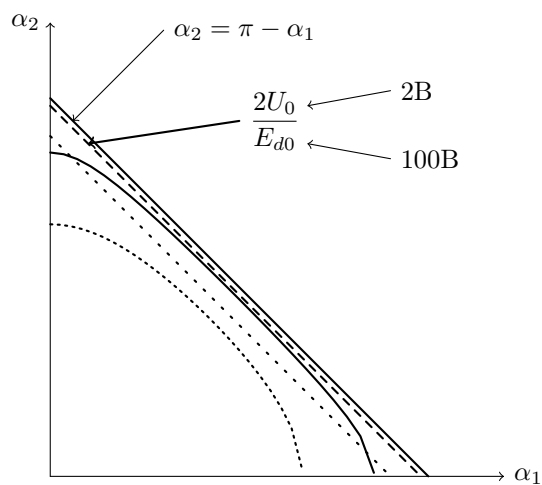
$$\begin{aligned} 0 < \alpha_1 < \pi - \cancel{\beta_{\min}} \\ 0 < \alpha_2 < \pi - \cancel{\beta_{\min}} \end{aligned}$$

но $\cos\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2} \neq 0$ никогда не равно нулю на всем диапазоне.

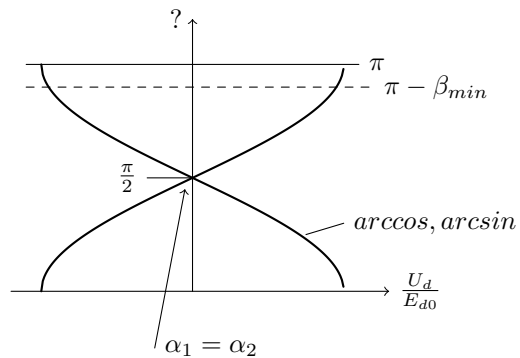
$$\cos\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \leq 0 \quad (1)$$

$$\begin{cases} E_{d0}(\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2) \leq 2U_0 \\ \alpha_1 + \alpha_2 \geq \pi \\ \cos\alpha_1 + \cos\alpha_2 \leq \frac{2U_0}{E_{d0}} \end{cases} \quad \left(\text{при } \frac{U_0}{E_{d0}} = 0 \right) \quad (2)$$

Условия (2) являются условиями совместного управления. α_1 меняется, чтобы вторая группа не мешала $\alpha_1 = \pi - \alpha_2$



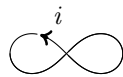
Регулируем напряжение на нагрузке.



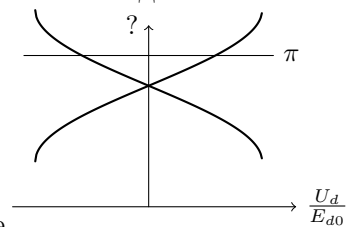
Получили соотношение для постоянных составляющих при совместном управлении.

$$e_{d1\sim} + e_{d2\sim} = U_{yp} \leq 0$$

Корректно ли ставить такую задачу? переменная составляющая на самом деле – знакопеременная. Уравнительный ток останется. Если ток переменный, то его можно ограничить индуктивностью до заранее выбранного значения.



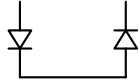
– переменная составляющая 50-70%. Что можно сделать?



Иногда делают навстречу постоянное напряжение

Для ограничения уравнительного тока обусловленного переменной составляющей уравнительного тока используются уравнительные реакторы.

Схему иногда называют "восьмеркой". Как рассчитать реакторы? Существуют графики, можно определить зависимость от одного угла, либо от выпрямленного напряжения. Ток переменный или постоянный. Пойдёт ток как в однополупериодной схеме.



– однополупериодная схема.

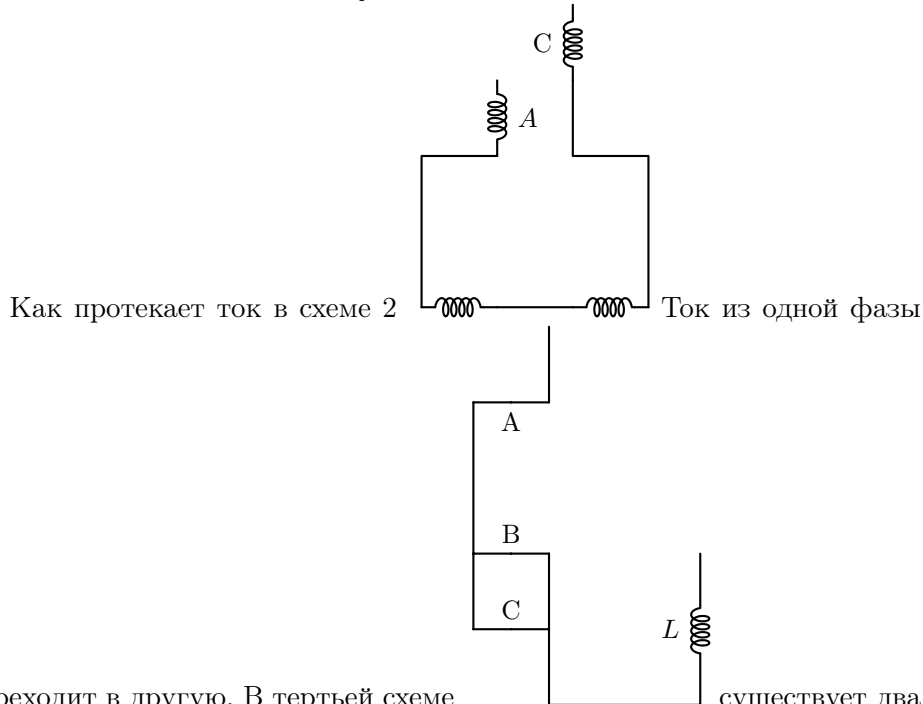
Если ток течёт без перерыва, то падение напряжения $U = 0$. $I_{\text{малый ток}}$.

$r_{\text{проводов}}$ – величина второго порядка малости если обеспечен $I_{\text{малый ток}}$.

Зависимость $U_{\text{выпрямленного}}$ от α .

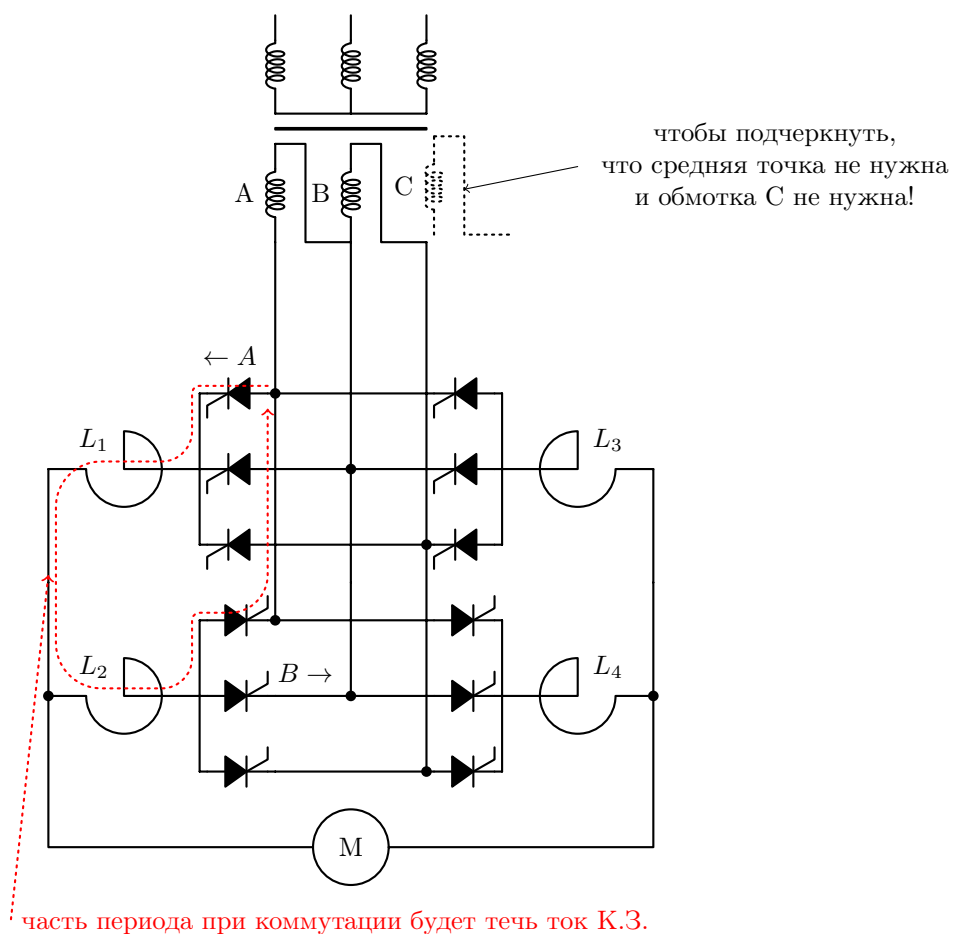
Задавшись максимальным уравнильным током \Rightarrow зададимся индуктивностью.

Ток загружает вентили, загружает трансформатор. Используемые уравнильные реакторы выбираются по максимальному значению $U_{\text{ур.}}$, зависящему от соотношения углов α . Обычно величина $I_{\text{ур.}}$ ограничивается на 10% меньше от номинального $I_{\text{выпрямленного}}$

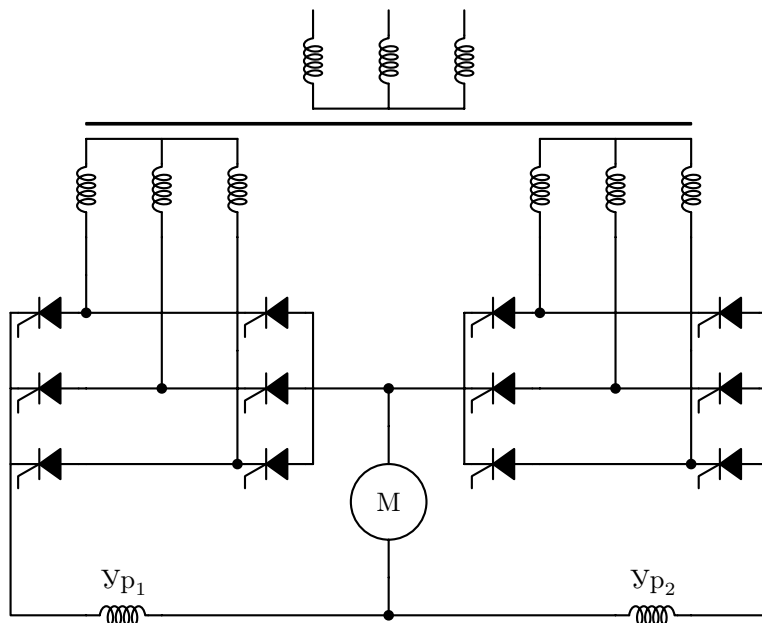


переходит в другую. В третьей схеме контура уравнильного тока, а реактор один для двух контуров тока. Н-схема – средняя. Вторая схема самая хорошая. Фирмы-производители не часто использовали Н-схему.

Для мостовой схемы зигзаг не нужен.



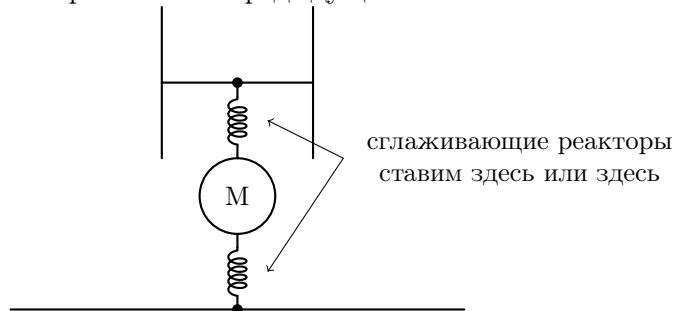
Куда включить реакторы? Сначала включим по самой сложной/полной схеме. Потом будем выбрасывать. L_2/L_3 – можно убрать два реактора, только симметрично. Могут использоваться 2 реактора или все четыре. Наличие двух контуров уравнительного тока с большой составляющей переменного напряжения является главным недостатком встречно-параллельной схемы.



Выбор уравнивающего напряжения – по амплитуде. 6-ти пульсная схема + 6-ти пульсная = пульсации меньше. А в предыдущей схеме 3-х пульсная (4 реактора, мощность на большую амплитуду и низкую частоту) Н-схема имеет преимущество, потому что один реактор.

При раздельном управлении импульсы поступают на одну ... Необходимость использования уравнивающих реакторов отсутствует. По этому признаку можем отличить раздельное управление.

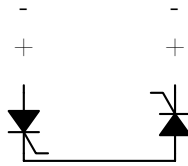
По сравнению с предыдущей схемой



Отсутствие уравнивающих токов и отсутствие реакторов является главным достоинством раздельного способа управления.

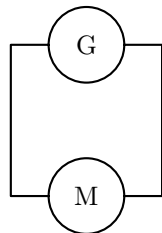
Если один выпрямитель а другой инвертор сумма углов 180.

$$\begin{array}{ll} \alpha = 60 & \alpha = 120 \\ \cos = \frac{1}{2} & \cos = -\frac{1}{2} \end{array}$$



В схеме замещения: напряжение $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{2}$

А как протекает ток? нагрузка выбирает куда течь току. Возникает полная аналогия с системой Леонардо (генератор+двигатель)



противо ЭДС

Двигатель выбирает направление тока.

Обмоткой возбуждения можно заставить ...

Недостаток раздельного управления ... ток не протекает ... но из-за управл.

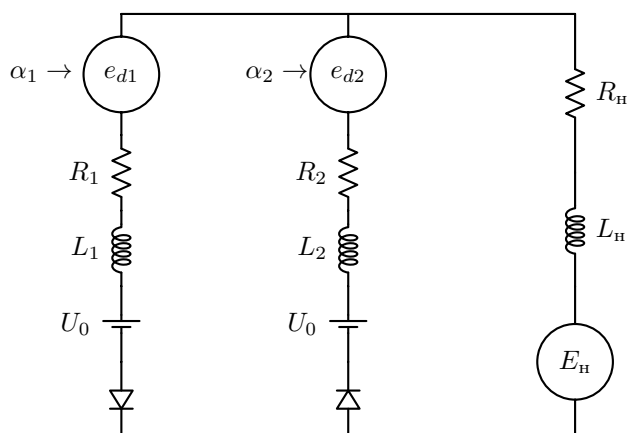
Плохо, что всегда есть инвертор. потому что принципиально инвертор ненадежен. Инверторный двигатель не в состоянии выбрать направление.

Второй недостаток схемы совместного?? управления – всегда имеет инверторный режим. Достоинство = полная идентичность с системой двигатель+генератор

А при раздельном управлении нужно соответствующее управление.

Как реализовать раздельное управление?

0.0.3 Принципы построения раздельной системы управления



При переходе к раздельному управлению технологи не торопились снимать уравнительные реакторы. Инерционность реакторов помогала

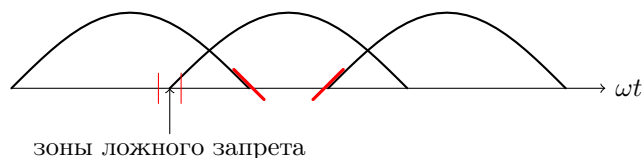
защите.

При переключении вентиляльных групп

- а) вначале выключаются импульсы одной вентиляльной группы, затем включаются на другой;
- б) отключать можно в тот момент когда ток равен нулю. Потому что пока есть ток есть инверторный режим нельзя включать. Включение при нулевом токе в нагрузке.
- в) после того как ток спал до нуля, но включать только после паузы превышающей время выключения вентилялей
- а) вначале отключили, потом включили
- б) отключение после того как ток $I = 0$
- в) выключение спустя $\Delta t > t_{\text{выключение тиристора}}$. Есть дополнительное условие: нельзя отключать импульсы в момент формирования импульсов
- г) тиристор открылся а датчик не смог ... определить что ток есть. Запрет отключения в момент когда импульс сформировался.
- д) (замена второго пункта, вариант) Вместо контроля за током используется контроль состояния всех тиристоров(вентилей)

$10kA$, чтобы гарантировать что тиристоры выключились, $I < I_{\text{удержания}}$, 100-200mA. Покажет ток утечки тиристоров, а этот ток может быть большим, потому что используется несколько тиристоров. Ток утечки 18 закрытых тиристоров может быть больше чем ток удержания одного тиристора. Определив ток, не знаем что это за ток: ток удержания одного тиристора или ток утечки всех.

Датчики ДЗВ (запирания вентилялей). Будем контролировать $\Delta U_{\text{тиристора}}$. 15 вольт – гарантия что тиристор заперт. На каждом больше 15 вольт – точно заперт



Тиристор открыт – на нем нулевое напряжение. Лучше ложный запрет чем ложное разрешение.

НПЧ – непосредственный преобразователь частоты.