Записки Ленинградского горного института.
Т. 128. СПб , 1991

УДК 62-83:621.314.26

А.В.ШИПУЛИН

НЕПОСРЕДСТВЕННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ С ЕМКОСТНЫМИ НАКОПИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ

Существующие непосредственные преобразователи частоты (НПЧ) и преобразователи частоты со звеном постоянного тока (ПЧ с ЗПТ) обладают рядом недостатков (для НПЧ - низкий $\cos\varphi$, зависимый от коэффициента мощности нагрузки, необходимость применения уравнивающих дросселей либо элементов для формирования пауз в выходном напряжении при совместном или раздельном управлении, пульсации формы выходного тока; для ПЧ с ЗПТ - ненадежность двухоперационных тиристоров, сложность коммутации тиристоров, низкий КПД и т.д.).

В статье предпринята попытка построить преобразователь частоты, обладающий лучшими качествами НПЧ и ПЧ с ЗПТ, причем от НПЧ используется естественная коммутация тиристоров преобразователя, от ПЧ с ЗПТ - обмен реактивной энергией нагрузки и емкостными накопителями энергии.

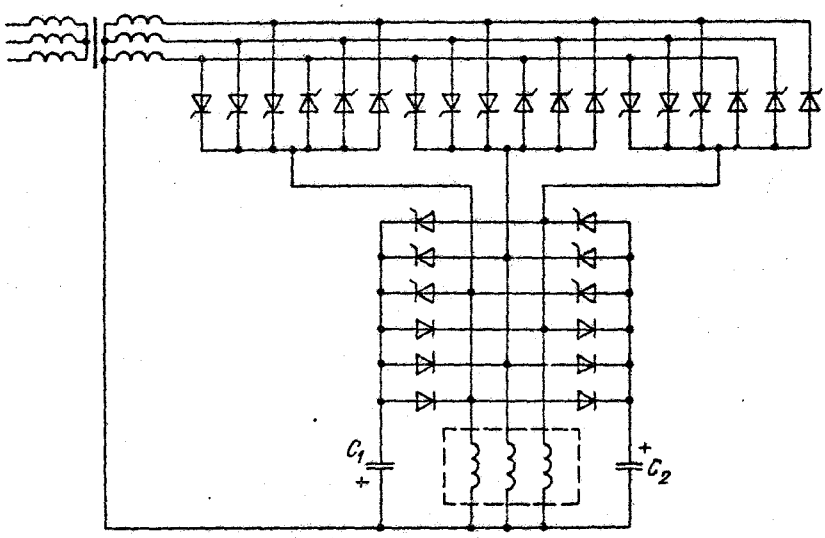


Рис.1. Схема НПЧ с емкостными накопителями

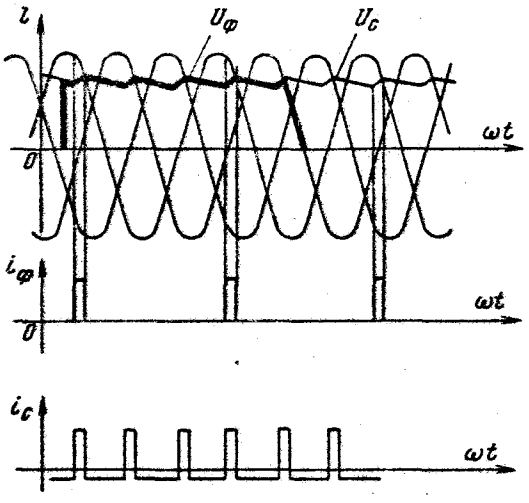


Рис.2. Временные диаграммы напряжения фазы нагрузки, тока фазы сети, напряжения и тока емкостного накопителя

Рассмотрим схему НПЧ с емкостными накопителями (рис.I)[x]. В отличие от классического НПЧ схема дополнена емкостями, связанными с нагрузкой через диодно-тиристорный коммутатор, состоящий из моста диодов обратного тока и тиристорного моста, аналогично емкостям звена постоянного тока, связанного через мост диодов обратного тока и инвертор с нагрузкой в ПЧ с ЗПТ. Из-за подключения емкостей параллельно фазам нагрузки (рис.2) образуется емкостный фильтр и происходит сглаживание выходного напряжения. В классической схеме НПЧ реактивная энергия, накопленная в фазах нагрузки, не позволяет тиристорам силовых групп запираться при изменении полярности сетевого напряжения и переводит их в инверторный режим. В предлагаемом устройстве тиристоры силовых групп запираются при снижении амплитуды полупериодов сетевого напряжения ниже напряжения заряда конденсатора и в инверторный режим не переводятся. Реактивная энергия, накопленная в индуктивностях нагрузки, через мост обратных диодов переводится в конденсаторы. Величина емкостей конденсаторов соизмерима с емкостями конденсаторов в ПЧ с ЗПТ.

Из рис.2 видно, что при сглаженном выходном напряжении и, следовательно, непрерывном токе нагрузки напряжение сети прикладывается к заряженному конденсатору, подключенному параллельно нагрузке, таким образом, под влиянием противо-ЭДС ток сети имеет прерывистый характер.

Выражение для тока сети можно получить, пренебрегая падением напряжения на вентилях из уравнения[xx]

$$ri + L\frac{di}{dt} = E_m \sin(\omega_1 t + \vartheta_0) - e_н , \qquad (I)$$

где $e_н$ – противо-ЭДС цепи нагрузки; r и L – общие сопротивления и индуктивности полного контура в интервале проводимости одного вентиля;

$$\vartheta_0 = \alpha + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m} .$$

---

[x] А.с. 1288853 СССР. Преобразователь частоты с непосредственной связью / А.В.Шипулин // Бюл. изобр. 1987. № 25.

[xx] Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. М.: Энергоиздат, 1982.

При прерывистых токах начальное значение тока $i_0 = 0$, при $i > 0$ будем иметь

$$i = \left[\varepsilon - \cos\theta \sin(\vartheta_0 - \theta)\right] e^{-\omega_1 t \operatorname{ctg}\theta} - \left[\varepsilon - \cos\theta \sin(\omega_1 t + \vartheta_0 - \theta)\right], \qquad (2)$$

где $\varepsilon = e_н / E_m$ - относительные противо-ЭДС нагрузки;

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{\omega_1 t}{r_1} .$$

Продолжительность импульса тока определяется из условия, что в конце импульса ток снова обращается в нуль, т.е. из уравнения

$$\left[\varepsilon - \cos\theta \sin(\vartheta_0 - \theta)\right] = \left[\varepsilon - \cos\theta \sin(\vartheta_0 - \lambda - \theta)\right] e^{\lambda \operatorname{ctg}\theta}, \qquad (3)$$

где $\lambda = \omega_1 t_\lambda$ - угловая продолжительность импульса;

$$\varepsilon = \cos\theta \frac{\sin(\vartheta_0 - \theta) - \sin(\vartheta_0 - \theta - \lambda) e^{\lambda \operatorname{ctg}\theta}}{1 - e^{\lambda \operatorname{ctg}\theta}} . \qquad (4)$$

Среднее значение прерывистого тока

$$i_{ср} = \frac{m}{2\pi} \int_0^\lambda i d\omega_1 t .$$

После подстановки уравнения (2) и интегрирования будем иметь

$$i_{ср} = \frac{m}{\pi} \left[\sin \frac{1}{2} \lambda \sin(\vartheta_0 + 1/2) - \frac{\lambda}{2} \lambda \varepsilon\right] \qquad (5)$$

или

$$i_{ср} = \frac{m}{2\pi} \left[\cos\vartheta_0 - \cos\theta_з - \varepsilon(\vartheta_з - \vartheta_0)\right], \qquad (6)$$

где $\vartheta_з = \vartheta_0 - \lambda$ - угол выключения, при котором импульс обращается в нуль.

Емкости, подключаемые к нагрузке с помощью диодно-тиристорного коммутатора, можно рассматривать как компенсатор реактивной мощности, однако принцип компенсации отличается от общепринятого, когда косинусные конденсаторы подключаются параллельно нагрузке (в случае поперечной компенсации) для получения соотношения

$$I_a \operatorname{tg}\varphi_н - I_a \operatorname{tg}\varphi = I_c = \omega C U , \qquad (7)$$

где P - активная мощность; $\operatorname{tg}\varphi_н$ - тангенс угла сдвига фаз, соответствующий коэффициенту мощности нагрузки; $\operatorname{tg}\varphi$ - тангенс угла сдвига фаз, соответствующий коэффициенту мощности, который должен быть получен после компенсации;

$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\operatorname{tg}\varphi_н - \operatorname{tg}\varphi) . \qquad (8)$$

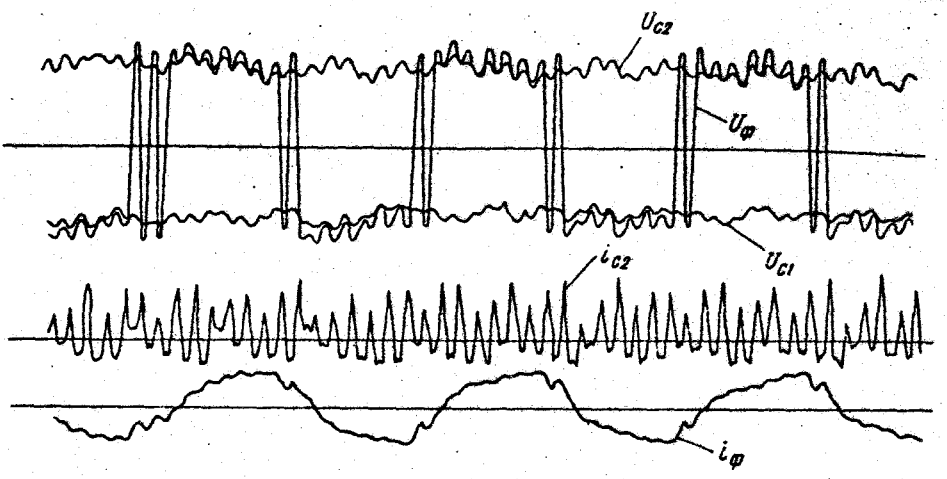


Рис.3. Осциллограмма напряжения и тока фазы нагрузки, напряжений и тока емкостного накопителя

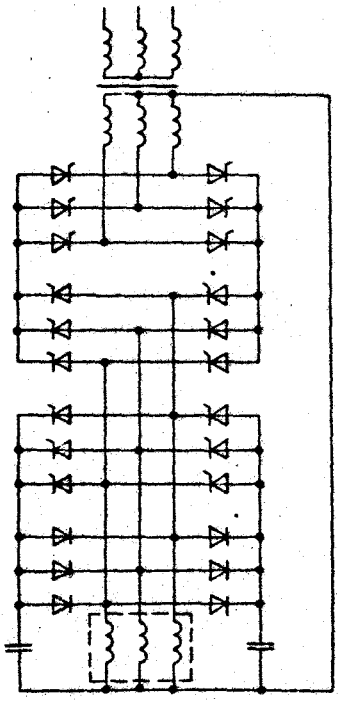


Рис.4. Упрощенная схема НПЧ с емкостными накопителями

Потребная реактивная мощность конденсатора

$$Q = P(\mathrm{tg}\varphi_{н} - \mathrm{tg}\varphi). \qquad (9)$$

Параллельно нагрузке активно-индуктивного характера подключается сопротивление емкостного характера для получения общего коэффициента мощности в заданных пределах.

В данном случае реактивная энергия нагрузки не влияет на сеть, а целиком передается в емкостные накопители, откуда возвращается в фазы нагрузки в моменты времени, определяемые включением тиристоров коммутатора, т.е. используется как активная энергия.

Преимущества подобной компенсации в применении более компактных электролитических конденсаторов при той же реактивной мощности (9) и отсутствии необходимости изменять величину емкости при изменении тока и коэффициента мощности нагрузки. Емкость накопителей определяет предельное накапливаемое количество реактивной мощности.

Осциллограмма (рис.3) подтверждает теоретические диаграммы, а также показывает возмож-

ность возникновения колебаний в контуре нагрузка - емкостный накопитель, что необходимо учитывать при определении режимов включения тиристоров коммутатора.

При отсутствии инверторного режима силовых групп НПЧ и импульсном прохождении тока сети можно значительно упростить силовую схему. На рис.4 показана схема, по принципу работы аналогичная рис.I, но содержащая вместо I8 тиристоров, включенных по трехфазным нулевым схемам, управляемый выпрямитель и тиристорный инвертор.

Применение конденсаторов, подключаемых с помощью диодно-тиристорного коммутатора, позволяет при сохранении естественной коммутации тиристоров: I) сглаживать выходное напряжение НПЧ; 2) упростить силовую схему НПЧ; 3) не применять дроссели ограничения уравнивающих токов и формирователи пауз в выходном напряжении; 4) устранить зависимость $\cos\varphi$ сети от коэффициента мощности нагрузки; 5) исключить коммутационные узлы γ; 6) увеличить КПД за счет уменьшения потерь в тиристорах силовых групп при многократном протекании через них реактивных токов.