

Майре ОЯВЭЭР, В. САРВ

ОБ ЭНЕРГЕТИКЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ДИОДЕ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ СХЕМ ПРИ СИНУСОИДАЛЬНОМ НАПРЯЖЕНИИ ПИТАНИЯ

В принципе работы любого преобразователя частоты лежит потребление энергии основными преобразовательными элементами на питающей частоте и ее генерирование на выходной частоте. В выпрямительных схемах таким элементом является диод, который генерирует энергию на нулевой частоте.

При выборе вентилях силовых схем выпрямителей необходимо знать максимально допустимые величины прямого тока и обратного напряжения, определяющие расчетную (установленную) мощность диода.

В опубликованной литературе для определения установленной мощности диода пока нет единой методики выбора максимально допустимого тока. Не установлено, определяется ли он средним или действующим значением тока [1, 2], или зависит от обоих значений.

Согласно [1] предположим, что максимально допустимый ток диода $I_{D\text{доп}}$ определяется номинальным средним значением тока диода I_{D0} , т. е.

$$I_{D\text{доп}} = I_{D0} \quad (1)$$

и установленная мощность диода

$$P_D = U_{Dm} I_{D0}, \quad (2)$$

где U_{Dm} — максимальное значение обратного напряжения диода. Относительное значение выходной мощности диода, характеризующее эффективность преобразовательного процесса, выражается в виде

$$P_{D*} = \frac{|P_{D0}|}{U_{Dm} I_{D0}}, \quad (3)$$

где $P_{D0} = U_{D0} I_{D0}$ — генерированная диодом мощность (U_{D0} — постоянная составляющая обратного напряжения диода).

В зависимости от процесса преобразования в диоде P_{D*} имеет различные значения. Для увеличения генерированной диодом мощности необходимо улучшить эффективность преобразования в диоде, что в свою очередь требует уточнения закономерностей обмена энергии в диоде. Последнее и является целью настоящей статьи.

Рассмотрим вначале процесс преобразования энергии в одном диоде однофазной мостовой выпрямительной схемы (рис. 1, а) при синусоидальном напряжении питания e_1 в случае чисто постоянного тока нагрузки $I_0 (L = \infty)$.

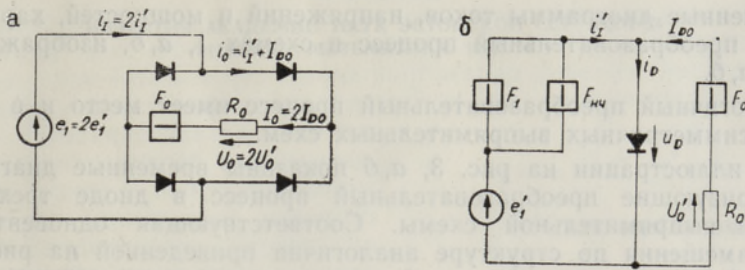


Рис. 1.

Для выделения существенных факторов процесса преобразования целесообразно перейти к одновентильной схеме замещения с фильтрами. Такая схема с пропускающими фильтрами нулевой (F_0), первой (F_1) и высших нечетных ($F_{нч}$) гармоник изображена на рис. 1, б, откуда ясно видно, что на процесс преобразования энергии влияют только форма напряжения питания и степень заграждения гармоник.

Ток i_D и напряжение u_D диода можно выписать в виде рядов

$$i_D = I_{D0} + i_{D1} + \sum_{k=2}^{\infty} i_{Dk}, \quad (4)$$

$$u_D = U_{D0} + u_{D1} + \sum_{k=2}^{\infty} u_{Dk}, \quad (5)$$

где I_{D0} и U_{D0} — постоянные составляющие, а i_{D1} и u_{D1} — первые гармоники тока и напряжения диода.

По второму закону Кирхгофа

$$U_{D0} + U_0' = 0,$$

т. е. в схеме рис. 1, б напряжение на нагрузке $U_0' = -U_{D0}$.

Мгновенная мощность идеализированного диода должна равняться нулю, т. е. $p_D = 0$,

$$\begin{aligned} p_D = u_D i_D = & U_{D0} I_{D0} + u_{D1} i_{D1} + U_{D0} i_{D1} + \\ & + U_{D0} \sum_{k=2}^{\infty} i_{Dk} + u_{D1} I_{D0} + u_{D1} \sum_{k=2}^{\infty} i_{Dk} + \\ & + \sum_{k=2}^{\infty} u_{Dk} I_{D0} + \sum_{k=2}^{\infty} u_{Dk} i_{D1} + \sum_{k=2}^{\infty} u_{Dk} \sum_{k=2}^{\infty} i_{Dk}, \end{aligned} \quad (6)$$

где $U_{D0} I_{D0} = P_{D0}$ — мгновенная мощность, генерированная диодом; $u_{D1} i_{D1} = p_{D1}$ — мгновенная мощность, потребляемая диодом на первой гармонике. Сумму остальных членов обозначим через p'_D .

Учитывая использование понятий мгновенных активной и реактивной мощностей в [3], p'_D как одну составляющую мгновенной мощности диода

$$p_D = P_{D0} + p_{D1} + p'_D = 0 \quad (7)$$

будем в настоящей статье называть мгновенной мощностью искажения.

Некоторым оправданием для использования такого временного названия может быть то обстоятельство, что согласно (6) p'_D складывается из произведений таких же гармонических пар мгновенных напряжений и токов, которые в случае действующих значений напряжений и токов определяют мощность искажения. К сожалению, четкого физического смысла мгновенной мощности p'_D мы еще не можем дать. Из уравнения (7), однако, видно, что такая составляющая мгновенной мощности диода необходима для работы выпрямителя.

Временные диаграммы токов, напряжений и мощностей, характеризующие преобразовательный процесс в схемах 1, а, б, изображены на рис. 2, а, б.

Аналогичный преобразовательный процесс имеет место и в диодах других симметричных выпрямительных схем.

Для иллюстрации на рис. 3, а, б показаны временные диаграммы, характеризующие преобразовательный процесс в диоде трехфазной мостовой выпрямительной схемы. Соответствующая однофазная схема замещения по структуре аналогична приведенной на рис. 1, б, однако, $F_{нч}$ не пропускает третьей и трехкратных гармоник.

При увеличении генерированной диодом мощности P_{D0} растет и мощность искажения. Хотя она и содержит много составляющих, временные диаграммы которых имеют разные формы в зависимости от конкретной схемы выпрямителя, их сумма при синусоидальной форме напряжения питания остается всегда синусоидальной.

Исходя из приведенных на рис. 2 и 3 временных диаграмм преобразовательного процесса в диоде согласно (3) относительное значение выходной мощности диода в однофазном и трехфазном мостовых выпрямителях равно соответственно 0,318 и 0,476.

В заключение можно сказать, что для работы диода в качестве выпрямительного элемента его ток должен содержать, кроме постоянной составляющей и первой гармоники, еще ряд высших гармоник, обуславливающих дополнительную составляющую мгновенной мощности диода, называемую нами мгновенной мощностью искажения, которая при синусоидальном напряжении питания имеет также синусоидальную форму независимо от конкретной схемы выпрямителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бухинский С. И., В сб.: Проблемы технической электродинамики, вып. 41, Киев, 1973, с. 7.
2. Загорский В. Т., Электротехника, № 10, 27 (1968).
3. Бычков Л. В., Изв. ВУЗов, Электромеханика, № 12, 1287 (1973).

Институт термофизики и электрофизики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
17/VI 1974

Maire OJAVEER, V. SARV

MUUNDUSPROTSESSI ENERGEETIKAST ALALDI DIODIS SIINUSELISE TOITEPINGE KORRAL

Energia muundusprotsessi uurimine alaldi diodis näitab, et diodi hetkvõimsus sisaldab peale diodi poolt toitesagedusel tarbitava ja väljundsagedusel genereeritava hetkvõimsuse veel lisakomponendi, mida käesolevas uurimuses nimetatakse hetkmoonutusvõimsuseks ja mis siinuselise toitepinge korral on siinuseline, olenemata alaldi skeemist.

Maire OJAVEER, V. SARV

POWER CONVERSION IN A RECTIFIER DIODE IN THE CASE OF SINUSOIDAL SUPPLY VOLTAGE

A study of the process of power conversion in a rectifier diode shows that the instantaneous power of a diode consists of three components: 1) the instantaneous power consumed by a diode at supply frequency, 2) the instantaneous power generated by a diode at output frequency, and 3) the component which in the case of sinusoidal supply voltage has also sinusoidal wave-form independently from specific circuits of rectifiers and has been named in this paper the instantaneous distortion power.