

УДК 621.314.63

Т. ТОМСОН

СПЕКТР ВХОДНОГО ТОКА ГРУППЫ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ, РАССТРОЕННЫХ ПО ТОКУ ПРИ ЗАДАННОМ РАСХОДЕ ГАЗА ПИТАЕМЫХ ПЛАЗМОТРОНОВ

T. TOMSON. JÄRVA GAASIKULU JA VOOLU HALVETEGA PLASMATRONE TOITVATE JUHITAVATE ALALDITE GRUPI SISENDVOOLU SPEKTER

T. TOMSON. THE INPUT CURRENT SPECTRUM OF A GROUP OF CONTROLLED RECTIFIERS FEEDING PLASMATRONS AT FIXED GAS FLOW AND DEFLECTED VALUE OF ANY SINGLE CURRENT

(Представил Н. Эпик)

В [1] рассматривается групповая работа 6-пульсных управляемых выпрямителей (УВ), питающих плазмотроны. Показано, что в случае расстройки по углу управления α при постоянном токе I можно достичь более благоприятного гармонического состава входного тока. Однако это достигается за счет нарушения симметрии газового режима, например, в многоструйном химическом реакторе, что не всегда оправдано. Поэтому исследуем режим групповой работы, который появляется при расстройке токов на ΔI в окрестности рабочей точки U , I при номинальном расходе газа $G_{\text{ном}} = \text{const}$ [2]. Из-за конечного дифференциального сопротивления ВАХ-плазмотрона при расстройке тока на ΔI появляется расстройка рабочего напряжения на

$$\Delta U = -\Delta I U / 3I,$$

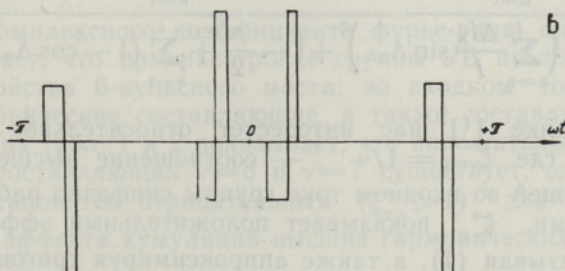
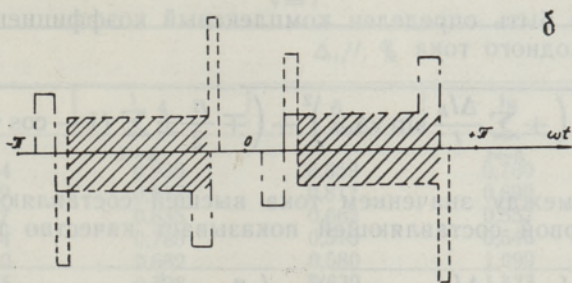
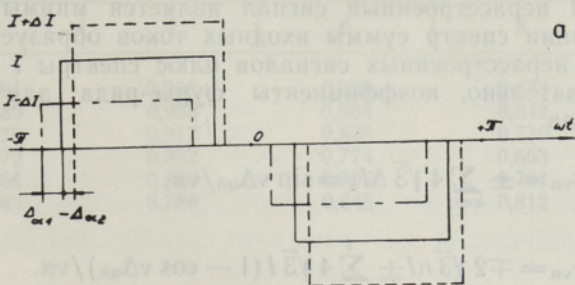
откуда для 6-пульсного УВ с регулировочной характеристикой $U = U_{d0} \cos \alpha$ найдем расстройку по углу управления

$$\Delta \alpha = \chi \Delta I / I, \quad (1)$$

где $\chi = U / U_{d0} \sqrt{1 - (U / U_{d0})^2}$.

Временная диаграмма тока при общепринятых упрощающих допущениях изображена на рисунке, а. К этим допущениям относятся мгновенная коммутация вентилей $\gamma = 0$ и полностью сглаженный выходной ток $I(t) = I = \text{const}$. На упомянутом рисунке сплошной линией показан импульс входного тока нерасстроенного по току УВ, пунктирной линией — импульс тока УВ с повышенным на ΔI значением и штрих-пунктирной — импульс тока УВ с пониженным на ΔI значением тока. Ввиду преднамеренности расстройки ΔI является детерминированной величиной, задаваемой произвольно. Для определения спектра суммарного тока, используя принцип суперпозиции [1], определим сигнал поправки, который отличает каждый расстроенный по амплитуде (и по фазе) частный сигнал от нерасстроенного. Этот сигнал поправки показан на рисунке в части б. Заметим, что для каждой пары сигналов, расстроенных по амплитуде, существуют взаимно-компенсирующие

части, которые определяют нулевое мгновенное значение суммарного сигнала поправки. Это позволяет не учесть эти заштрихованные части сигналов и предъявить суммарный сигнал поправки в виде, который показан на рисунке в части *в*.



Временная диаграмма импульсов входного тока одной фазы при расстройке выпрямленных токов $I, I \pm \Delta I$: *а* — импульсы тока; *б* — частные сигналы поправки и *в* — суммарный сигнал поправки.

Для группы n синфазно управляемых УВ могут быть определены в результате фурье-анализа следующие компоненты в случае ν -й гармонической составляющей

$$a_\nu = 0, \\ b_\nu = c_\nu = 4nI \sin \nu \frac{\pi}{2} \sin \nu \frac{\pi}{3} / \nu\pi = \mp 2\sqrt{3} I / \nu\pi. \quad (2)$$

Для сигнала поправки каждой l пары УВ в группе из n УВ, расстроенных по току, могут быть определены следующие коэффициенты фурье-ряда:

$$a_\nu = 8\Delta I \sin \nu \frac{\pi}{2} \sin \nu \frac{\pi}{3} \sin \nu \Delta\alpha / \nu\pi = \pm 4\sqrt{3} \Delta I \sin \nu \Delta\alpha / \nu\pi, \\ b_\nu = 8I \sin \nu \frac{\pi}{2} \sin \nu \frac{\pi}{3} (1 - \cos \nu \Delta\alpha) / \nu\pi = \pm 4\sqrt{3} I (1 - \cos \nu \Delta\alpha) / \nu\pi. \quad (3)$$

В формулах (2) и (3) верхние знаки действительны для $\nu=1$, нижние для $\nu \in \{5, 7\}$.

Для нечетного числа нагрузок $n=2l+1$ один из токовых сигналов может быть рассмотрен как нерасстроенный сигнал, для четного числа нагрузок $n=2l$ нерасстроенный сигнал является мнимым. По принципу суперпозиции спектр суммы входных токов образуется как сумма спектров n нерасстроенных сигналов плюс спектры l сигналов поправок. Следовательно, коэффициенты фурье-ряда для суммарного входного сигнала

$$a_{\nu n} = \pm \sum_{k=1}^l 4\sqrt{3} \Delta I_k = \sin \nu \Delta_{\alpha k} / \nu \pi, \quad (4)$$

$$b_{\nu n} = \mp 2\sqrt{3} n I \pm \sum_{k=1}^l 4\sqrt{3} I (1 - \cos \nu \Delta_{\alpha k}) / \nu \pi.$$

По (4) может быть определен комплексный коэффициент фурье-ряда суммарного входного тока

$$c_{\nu n} = \frac{4\sqrt{3}I}{\nu \pi} \sqrt{\left(\pm \sum_{k=1}^l \frac{\Delta I_k}{I} \sin \nu \Delta_{\alpha k}\right)^2 + \left(\mp \frac{n}{2} \pm \sum_{k=1}^l (1 - \cos \nu \Delta_{\alpha k})\right)^2}. \quad (5)$$

Соотношение между значением тока высшей составляющей и значением тока первой составляющей показывает качество тока [1].

$$\xi_{\nu n} = \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{\left(-\sum_{k=1}^l \frac{\Delta I_k}{I} \sin \nu \Delta_{\alpha k}\right)^2 + \left(\frac{n}{2} - \sum_{k=1}^l (1 - \cos \nu \Delta_{\alpha k})\right)^2}{\left(\sum_{k=1}^l \frac{\Delta I_k}{I} \sin \Delta_{\alpha k}\right)^2 + \left(-\frac{n}{2} + \sum_{k=1}^l (1 - \cos \Delta_{\alpha k})\right)^2}}. \quad (6)$$

Согласно методике [1] нас интересует относительное соотношение $\xi_{\nu n}^* = \xi_{\nu n} / \xi_{\nu n \Pi}$, где $\xi_{\nu n \Pi} = 1/\nu$ — соотношение высшей гармонической составляющей во входном токе группы синфазно работающих УВ. Другими словами, $\xi_{\nu n}^*$ показывает положительный эффект расстройки. По (6), учитывая (1), а также аппроксимируя тригонометрические функции первыми членами их степенных рядов и представляя расстройки по току как кратные выбранного кванта по току $\Delta I_k = \sum_{i=1}^k \Delta_i$, можем вывести расчетную формулу

$$\xi_{\nu n}^* \approx \sqrt{\frac{\left(-\nu \left(\lambda \frac{\Delta_i}{I}\right)^2\right)^2 + \left(n/\chi - \nu^2 \chi \left(\lambda \frac{\Delta_i}{I}\right)^2\right)^2 / 4}{\left(\left(\lambda \frac{\Delta_i}{I}\right)^2\right)^2 + \left(-n/\chi + \chi \left(\lambda \frac{\Delta_i}{I}\right)^2\right)^2}}. \quad (7)$$

В формуле (7) λ — вспомогательная величина, которая определяется из соотношения

$$\lambda = \sum_{k=1}^l \Delta I_k / \Delta_i. \quad (8)$$

Например, для $n=2$, $\lambda=3$, $n=3$, $\lambda=6$ и т. п. Рассчитанные по (7) значения $\xi_{\nu n}^*$ для $\nu=5$ и $\nu=7$ показаны в табл. 1 и 2. Верхние цифры получены для $\lambda=0,483$ (при $U/U_{d0}=0,5$), нижние для $\lambda=0,494$ (при $U/U_{d0}=0,65$).

Таблица 1

 $\nu=5$

n	$\Delta_i/I, \%$				
	2	4	6	8	10
2	0,991	0,968	0,929	0,878	0,819
	0,989	0,958	0,908	0,842	0,766
3	0,979	0,917	0,825	0,730	0,691
	0,972	0,892	0,774	0,663	0,665
4	0,956	0,836	0,707	0,751	1,120
	0,943	0,788	0,645	0,812	1,382

Таблица 2

 $\nu=7$

n	$\Delta_i/I, \%$				
	2	4	6	8	10
2	0,984	0,936	0,859	0,760	0,652
	0,979	0,917	0,817	0,690	0,563
3	0,957	0,835	0,662	0,557	0,747
	0,944	0,785	0,573	0,546	0,958
4	0,910	0,682	0,580	1,099	2,04
	0,885	0,596	0,639	1,473	2,710

Анализ комплексного коэффициента фурье-ряда, определяемого по (3), показывает, что при расстройке группы УВ по току сохраняются основные свойства δ -пульсного моста: во входном токе отсутствуют четные гармонические составляющие, а также составляющие, кратные к трем. Анализ табл. 1 и 2 показывает, что положительный эффект для подавления составляющих $\nu=5$ и $\nu=7$ существует, однако он незначителен и становится отрицательным ($\xi_{\nu n}^* > 1$) для больших расстроек из-за эффекта кумуляций высших гармонических составляющих, аналогично [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Томсон Т. // Изв. АН ЭССР. Физ. Матем., 1984, 33, № 3, 339—349.
2. Тамжви П. И., Томсон Т. И. // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук, 1983, № 3, вып. 3, 77—82.

Институт термофизики и электрофизики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
17/V 1988