

УДК 621.314

Б. БК 32.85

ОПТИМИЗАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Магазинник Л.Т., Магазинник Л.М.

Ульяновский государственный технический университет

Ульяновск, Россия

tai@ulstu.ru

Однофазные вторичные источники питания (ВИП) получили широкое распространение в различных электротехнических и электротехнологических установках мощностью от десятков ватт до нескольких кВт (стабилизаторы напряжения, электросварочные аппараты инверторного типа, источники питания небольших плазмотронов и т. п.)

Главный энергетический недостаток большинства известных ВИП – низкий коэффициент мощности (K_m) из-за наличия звена постоянного тока в виде диодного моста с фильтровым конденсатором (C_ϕ) на выходе.

Сетевой ток, потребляемый такими ВИП, при отсутствии специальных устройств коррекции носит импульсный характер с тем большей относительной амплитудой тока $I_m^* = I_m / I_{m.sin}$, (I_m – амплитуда тока, потребляемого ВИП из сети; $I_{m.sin}$ – амплитуда синусоидального тока при той же мощности), чем меньше допустимые пульсации выпрямленного напряжения.

Несложные расчеты показывают, что, например, при пульсациях напряжения на нагрузке $\approx 13\%$ $I_m^* \approx 4$. Это приводит к существенному увеличению потерь в ВИП и недопустимым помехам в питающей сети.

Согласно требованиям МЭК для любого электрооборудования мощностью более 300 Вт обязательно обеспечение значения K_m , требуемого стандартами МЭК IEC – 1000-3-2. Придерживаться этих стандартов должны все производители изделий, выходящие на международный рынок.

Для увеличения K_m применяют схемы пассивной коррекции, пригодные для постоянных активно-индуктивных нагрузок и схемы активной коррекции, пригодные и для любых переменных нагрузок.

Системы управления схемами активной коррекции разработаны и выпускаются рядом известных фирм (Micro Linear, Siemens, Motorola). Эти системы реализуют алгоритм работы транзисторного ключа, при котором ток, потребляемый из сети носит пилообразный квазисинусоидальный характер. В [1] отмечается, что при таком алгоритме работы ключа коэффициент сдвига $\cos\phi_1 \approx 1$ и коэффициент мощности K_m также близок к единице.

«Средний ток» i_{cp} действительно синусоидален и коэффициент сдвига первой гармоники тока близок к единице. Однако, в спектре тока есть высшие гармоники, поэтому «средний ток» не дает информацию о коэффициенте мощности K_m .

Учитывая, что частота модуляции $f_m \gg f_c$, где $f_c = 50$ Гц, можно принять, что синусоида «среднего тока» является средней линией каждого «треугольника» тока на периоде сетевой частоты.

Тогда получим (с небольшим завышением):

$$K_i = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_{m.\bar{n}\delta}^2 dt}}{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \sum_1^k I_{m.k}(t) dt}} \approx \frac{0,5}{\sqrt{2 \int_0^{0,5} (2t)^2 dt}} = \frac{\sqrt{3}}{2},$$

где $K = f_m/50$; $I_{m.cр}$ – амплитуда «среднего тока»; $I_{m.k} – K^n$ амплитуда тока сети; K_i – коэффициент искажения тока.

Таким образом, при синусоидальном напряжении питающей сети и $\cos\varphi_1 = 1$ известный алгоритм повышает коэффициент мощности лишь до $K_{m.макс} \approx K_{iмакс} = I_{m.cр}/I_m \leq 0,86$.

Для дальнейшего увеличения K_m ток в индуктивности необходимо сделать непрерывным с соответствующим уменьшением амплитуды «зубцов пилы». Для этого необходимо ввести в схему дополнительный релейный элемент, ограничивающий «пилу тока» i_L через индуктивность полуволнами напряжений. Причем размах пульсаций i_L определяется разностью значений этих напряжений, то есть коэффициентом деления K_D делителя D и теоретически при $K_D \rightarrow 1$ неограниченно приближается к нулю. Соответственно, ток i_L стремится к синусоидальному. Практически коэффициент деления ограничен чувствительностью элементов и частотными возможностями схемы, то есть допустимой частотой модуляции.

Несложные расчеты показывают, что уже при $K_D = 0,5$ коэффициент искажения тока $K_i \approx K_m \geq 0,95$, что с запасом удовлетворяет самым жестким требованиям стандарта МЭК IEC-1000-3-2.

Следует отметить, что наряду с увеличением K_m , активная коррекция по схеме с дополнительным релейным элементом, позволяет существенно уменьшить величину емкости C_ϕ по сравнению со схемами без коррекции.

Действительно, при квазисинусоидальном сетевом токе относительная мощность $P^*(t) = 1 - \cos 2\omega t$ имеет частоту, вдвое большую, чем частота сети. Поэтому интервал разряда конденсатора C_ϕ в нагрузку уменьшается с величины

$$\tau = \pi/2 + \arcsin(U_{\min}/U_{\max}),$$

где U_{\min} – минимальное, а U_{\max} – максимальное напряжение на C_ϕ , до интервала, равного $\pi/2$. Это означает, что при неизменном токе нагрузки на рассматриваемом интервале и сохранении той же глубины пульсаций напряжения, что и в схемах ВИП без коррекции K_m величина емкости \tilde{N}_ϕ^* может быть уменьшена на $\Delta t = (\tau - \pi/2)/\tau$, что, например, при $U_{\min}/U_{\max} \approx 0,13$ дает $\tau = 5\pi/6$ и, соответственно, уменьшение емкости C_ϕ на 40 %.

Кроме того, часть энергии на интервале разряда C_ϕ поступает в нагрузку и из сети. Обозначая сетевую составляющую энергии W^* , а конденсаторную – W_d^* и, полагая, мощность нагрузки на рассматриваемом интервале ($P_d = \text{const}$), получим.

$$\frac{W^*}{W_d^*} \approx \frac{\int \sin wt \cdot dt}{P} = \frac{2}{P},$$

откуда доля сетевой составляющей

$$\Delta W^* \% = \frac{P-2}{2} \cdot 100 = 36 \% .$$

Следовательно, общая относительная величина емкости C_ϕ в схеме с коррекцией K_M составит:

$$C_\phi = 0,6 - 0,6 \cdot 0,36 = 0,39,$$

то есть менее 40 % емкости в традиционных схемах ВИП.

Из приведенных соотношений очевидно, что с уменьшением пульсаций напряжения на нагрузке выигрыш в емкости еще более увеличивается.

Выводы.

1. Для обеспечения требований МЭК по качеству электроэнергии все ВИП мощностью выше 300 Вт должны снабжаться устройствами коррекции коэффициента мощности.

2. Предложенная схема активной коррекции коэффициента мощности с дополнительным релейным элементом с запасом обеспечивает требования МЭК.

При этом, наряду с увеличением коэффициента мощности $K_M > 0,95$, емкость фильтрового конденсатора уменьшается более, чем на 60 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.А.Прянишников – Электроника, С.-Петербург, 1998, 398 с.