

Л и т е р а т у р а

1. Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин. - Л.: Энергия, 1968.
2. Гемке Р.Г. Неисправности электрических машин. - Л.: Энергия, 1975.
3. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергия, 1975.

УДК 62 - 83:621.313.333.072.9

Ю.Н.Петренко, В.П.Беляев, В.Г.Беккерман,
Ю.В.Черныш

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ПИТАНИИ ОТ ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Частотный электропривод с автономным инвертором напряжения (АИН) находит широкое применение в промышленности [1]. Выходное напряжение серийных преобразователей частоты с АИН имеет шестиступенчатую форму, что обусловлено однократной коммутацией тиристорov в течение периода выходного напряжения. Такие АИН можно назвать преобразователями с однократной модуляцией.

Недостатком такого электропривода, ограничивающим область его применения, является низкий диапазон регулирования частоты, поскольку минимальное ее значение составляет величину 5 Гц. В ряде производственных механизмов даже этот предел невозможен из-за неустойчивой работы электродвигателя, вызванной влиянием высших гармоник напряжения, которые приводят к появлению пульсирующих составляющих электромагнитного момента [2]. Расширение диапазона регулирования можно достичь улучшением гармонического состава напряжения. Одним из возможных путей является применение АИН с многократной модуляцией, среди которых внимание уделяется АИН с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Многообразие видов ШИМ, характеризующихся в основном различными законами распределения импульсов, вызывает необходимость исследования их влияния на электромагнитные процессы в двигателе, что в конечном итоге позволяет выбрать наиболее рациональный из них. Независимо от закона ШИМ формирование напряжения производится посредством переключения тиристорov, закон которого определяет вид ШИМ и форму фазного напряжения инвертора. При ШИМ фазное напря-

жение трехфазного инвертора состоит из ряда прямоугольных импульсов одинаковой амплитуды, равной половине напряжения источника питания постоянного тока U_d . Наиболее характерной является двухполярная ШИМ (рис. 1). Значения углов коммутации тиристоров A_1, A_2, \dots, A_N фазы А зависят от выбранного способа модуляции и определяются заранее по одной из известных методик [2]. Для фаз В и С трехфазной симметричной системы напряжений определение углов коммутации производится по формулам

$$\begin{aligned} B_N &= A_N + 2\pi/3; \\ C_N &= A_N + 4\pi/3; \end{aligned} \quad (1)$$

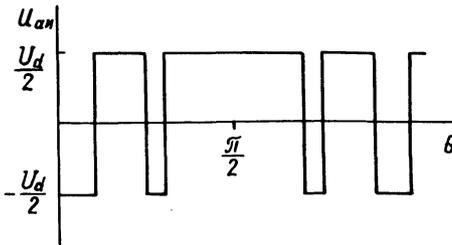


Рис. 1. Кривая фазного напряжения инвертора.

Для удобства ввода в ЦВМ напряжение фазы А инвертора в первый полупериод можно записать в виде

$$u_{aи} = (-1)^k \frac{u_d}{2}, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{где } k &= 2 && \text{при } A_{2n-1} < \theta \leq A_{2n}; \\ k &= 1 && \text{при } A_{2n} < \theta \leq A_{2n+1}; \\ n &= 1, 2, 3, \dots; && 0 < \theta \leq \pi. \end{aligned} \quad (3)$$

Во втором полупериоде напряжение формируется аналогичным образом по (2) с учетом условия

$$\begin{aligned} k &= 1 && \text{при } A_{2n-1} < \theta \leq A_{2n}; \\ k &= 2 && \text{при } A_{2n} < \theta \leq A_{2n+1}; \\ n &= 1, 2, 3, \dots; && \pi < \theta \leq 2\pi. \end{aligned} \quad (4)$$

Напряжения на выходе инвертора u_{AB}, u_{BC}, u_{CA} находятся как разность фазных. Фазные напряжения нагрузки при соединении звездой равны

$$\begin{aligned}
 u_a &= \frac{2}{3} u_{AB} + \frac{1}{3} u_{BC}; \\
 u_b &= -\frac{1}{3} u_{CA} - \frac{2}{3} u_{AB}; \\
 u_c &= \frac{1}{3} (u_{CA} - u_{BC}).
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Далее, используя метод обобщающих векторов, решается система дифференциальных уравнений двигателя, представленных в форме Коши [3].

Таким образом, алгоритм расчета электромагнитных процессов в частотном электроприводе с АИН – ШИМ представляется следующим.

1. Заранее рассчитанные значения углов коммутации инвертора для одной фазы (например, фазы А) вводятся в программу.

2. Производится расчет углов коммутации для фаз В и С.

3. Определяется фазное напряжение инвертора по выражениям (3) и (4).

4. Расчет составляющих обобщающего вектора напряжения и решение системы дифференциальных уравнений производится по известной методике [2, 3].

Напряжение при однополярной ШИМ может быть легко получено из (2) и (3).

Некоторые результаты расчета электромагнитных процессов для двигателя мощностью 4 кВт, полученные по изложенной методике, представлены на рис. 2,3.

Сравнительная оценка качественных характеристик формы годографа вектора тока статора \vec{I}_S при холостом ходе (рис. 2) и при номинальной нагрузке (рис. 2,б) с результатами, полученными при питании двигателя от АИН с однократной модуляцией [2], показывает, что при ШИМ форма тока значительно приближается к синусоидальной. Такой же вывод следует и из рассмотрения кривой фазного тока двигателя i_a (рис. 3). Характерной является кривая электромагнитного момента (рис. 3). Известно [2], что при питании от АИН с однократной модуляцией электромагнитный момент содержит составляющую, пульсирующую с шестикратной частотой, что имеет место благодаря действию 5-й и 7-й гар-

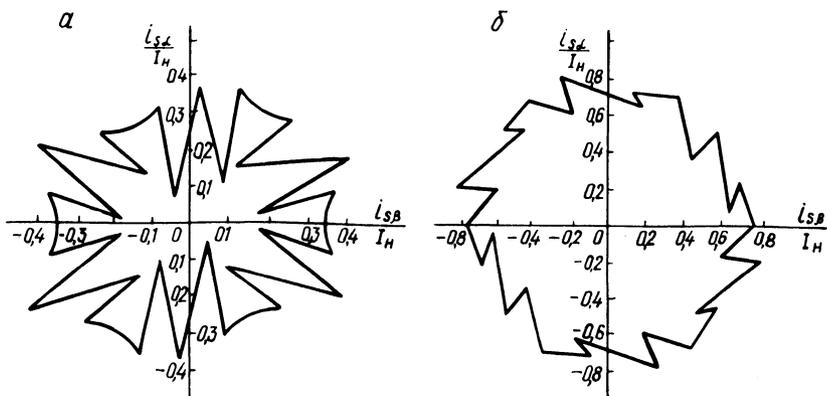


Рис. 2. Годограф вектора тока статора при холостом ходе (а) и при номинальной нагрузке (б).

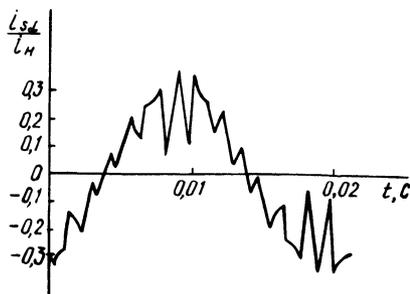


Рис. 3. Ток фазы статора двигателя.



Рис. 4. Электромагнитный момент двигателя.

моник в кривой напряжения. В исследуемом случае (рис. 4) благодаря значительному подавлению наиболее существенных гармоник частота пульсаций повышается, а амплитуда снижается, что благоприятно сказывается на пульсациях частоты вращения двигателя.

Л и т е р а т у р а

1. Беяев В.П., Петренко Ю.Н. Эффективность применения регулируемых электроприводов переменного тока в промышленности БССР. - Минск: БелНИИНТИ, 1978. 2. Структуры систем управления автоматизированным электроприводом/

О.П.Ильин, В.И.Панасюк, Ю.Н.Петренко, В.П.Беляев. – Минск: Наука и техника, 1978. З. Ильин О.П., Петренко Ю.Н., Якубович Л.Ю. Об исследовании частотного электропривода с инвертором напряжения. – Изв. вузов СССР. Сер. Энергетика, 1978, №12.

УДК 621.313.629

Л.С.Писарик

О ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА АВТОМОБИЛЯ НА МИНИМУМ СЕБЕСТОИМОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ РАБОТЫ

Наиболее распространенными критериями, используемыми при проектировании электрооборудования, являются минимумы приведенной стоимости, массы или объема изделия, максимум коэффициента полезного действия или комбинированные критерии, которые так или иначе учитывают частичные перечисленные, а также и другие технико-экономические показатели проектируемого изделия или системы [1]. Сложность здесь заключается в установлении степени значимости каждого частичного критерия.

Если принять за критерий оптимальности системы тягового электропривода автомобиля экстремум какого-либо показателя, характеризующего не систему электропривода как таковую, а автомобиль в целом, то эта сложность может быть преодолена. Тогда степень значимости таких технико-экономических показателей проектируемого электропривода, как его масса, габариты, коэффициент полезного действия, стоимость определится их влиянием на данный показатель автомобиля.

Обобщенным показателем, используемым для оценки транспортного средства, предназначенного для перевозки грузов, является себестоимость тонно-километра выполняемой работы. Поэтому будет правильным степень оптимальности системы тягового электропривода грузового автомобиля оценить по его влиянию на величину себестоимости транспортной работы автомобиля, приняв за критерий оптимальности минимум себестоимости.

Система тягового электропривода автомобиля в общем случае включает в себя тяговый генератор с редуктором и устройством возбуждения, преобразователь электрической энергии генератора, тяговые двигатели мотор-колес с их редук-