

## АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМИ КОНДЕНСАТОРАМИ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

О.В.ИВАНОВ, Б.И.КОМАРОВ, А.Д.СИГАРРЕТА

Нагрузки приводов горных машин характеризуются большой неравномерностью и, как показывает корреляционный анализ режимов работы дообичных и проходческих комбайнов, содержат периодические составляющие с диапазоном частот 0,5–20 Гц. В протяженных шахтных сетях врубово-комбайновые электродвигатели зачастую не могут устойчиво нести нагрузку, равную их номинальной мощности.<sup>х</sup> Эффективным средством улучшения пусковых и нагрузочных свойств асинхронных двигателей в этих условиях могут служить последовательные конденсаторы (ПК). В результате включения ПК заметно увеличиваются пусковой и максимальный моменты, уменьшается амплитуда колебаний момента в процессе пуска и, как следствие, сокращается время и уменьшается неравномерность разгона двигателя. Вместе с тем, в сетях с ПК упругие свойства асинхронного двигателя могут оказывать существенное влияние на протекание процессов даже при отсутствии периодических составляющих в моменте сопротивления.<sup>хх</sup> Поэтому исследование малоизученных режимов работы асинхронного двигателя в сети с ПК при периодической нагрузке представляет определенный интерес.

Режимы работы асинхронного двигателя в радиальной сети с ПК при периодической нагрузке на его валу (рис.1) исследовались решением системы нелинейных дифференциальных уравнений асинхронного двигателя с предвключенными

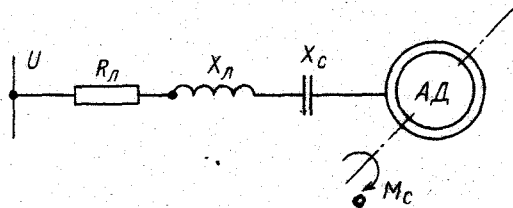


Рис.1. Принципиальная схема исследуемой системы

<sup>х</sup> В.В.Глушко. Характеристики режимов работы горных машин и их автоматическое управление. М., „Недра“, 1973.

<sup>хх</sup> О.В.Иванов, В.М.Квятковский, Б.И.Комаров. Исследование самораскачивания асинхронных двигателей в сетях с последовательными конденсаторами. - „Электричество“, 1969, № 3.

сопротивлениями  $R_A$ ,  $X_A$ ,  $X_C$  на аналоговой вычислительной машине.

Момент сопротивления задавался в виде

$$M_c = M_0 + \Delta M \cos \Omega t.$$

Периодическая составляющая момента сопротивлений получалась на АВМ в результате решения вспомогательного дифференциального уравнения второго порядка. Амплитуда периодической составляющей  $\Delta M$  в относительных единицах была принята равной 0,2. Частота периодической составляющей  $\Omega$  изменялась в пределах 0,05–0,5. Параметры сети и двигателя были приняты следующими:  $R_A = 0,08$ ;  $X_A = 0,04$ ;  $R_s = R_r = 0,05$ ;  $X_s = X_r = 3,6$ ;  $X_m = 3,5$ ;  $T_M = 76$ . Емкостное сопротивление ПК  $X_C$  изменялось от нуля до 0,08.

При исследовании процессов пуска двигателя на осциллограммах фиксировались вращающий момент  $M$  и скорость вращения ротора  $\omega_r$ . При построении частотных характеристик двигателя  $\Delta \omega_r = f(\Omega)$  амплитуда периодической составляющей скорости ротора  $\Delta \omega_r$  определялась по показаниям вольтметра. При выбранном масштабе времени максимальная частота процессов на АВМ составляла 0,64 Гц и, следовательно, влиянием частотных искажений, вносимых инерцией прибора, можно пренебречь. Для уточнения отсчетов вольтметром измерялось напряжение, пропорциональное скольжению двигателя  $S = (1 - \omega_r)$ , усиленному в 10 раз. Это же значение фиксировалось и на осциллограммах установившегося режима.

Частотные характеристики двигателя определялись следующим образом. При выбранном сочетании параметров на АВМ воспроизводились запуски двигателя с периодическим моментом сопротивления, частота которого изменялась перед каждым пуском. По окончании процесса разгона в установившемся режиме включалась измерительная цепь вольтметра и по его показаниям определялась амплитуда периодической составляющей скорости ротора. Процессы пусков, а также формы кривых колебаний скорости ротора в установившихся режимах осциллографировались (рис.2). После этого описанный процесс исследования частотных свойств двигателя повторялся при другом сочетании параметров. Как следует из осциллограмм, периодическая составляющая момента сопротивлений с амплитудой  $\Delta M = 0,2$  не оказывает существенного влияния на процессы пуска двигателя, особенно при  $M_0 = 0$ . Продолжительность запуска и вращающий момент двигателя практически не зависят от частоты периодической составляющей момента сопротивлений.

Последовательные конденсаторы заметно улучшают динамические характеристики двигателя в процессе пуска: продолжительность разгона при тех же остальных параметрах сокращается, амплитуды колебаний вращающего момента в процессе пуска уменьшаются, а пусковой и максимальный моменты увеличиваются. По окончании процессов пуска, в установившемся режиме, влияние периодической нагрузки становится более заметным: во вращающем моменте двигателя и в скорости вращения ротора наблюдаются периодические составляющие, амплитуды которых в значительной степени зависят от частоты колебаний момента сопротивлений. Форма кривых этих периодических составляющих при отсутствии самораскачивания двигателя близка к

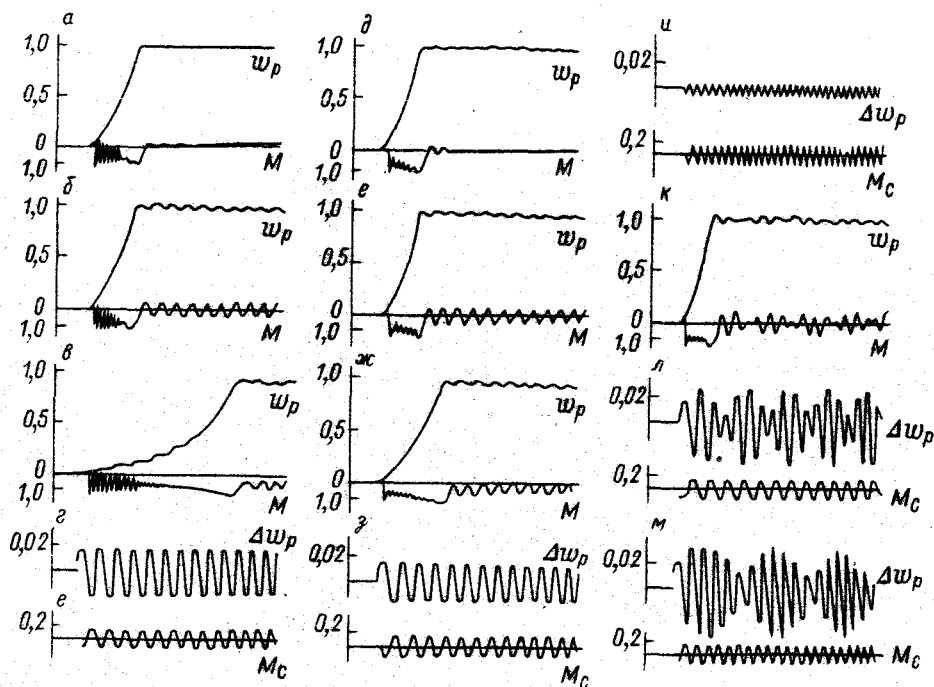


Рис.2. Осциллограммы переходных и установившихся процессов:

| Осциллограмма | $M_c$                     | $X_c$ |
|---------------|---------------------------|-------|
| а             | 0                         | 0     |
| б, г          | $0,2 \cos 0,11\tau$       | 0     |
| в             | $0,5 + 0,2 \cos 0,11\tau$ | 0     |
| д, и          | $0,2 \cos 0,28\tau$       | 0,06  |
| е, з          | $0,2 \cos 0,11\tau$       | 0,06  |
| ж             | $0,5 + 0,2 \cos 0,11\tau$ | 0,06  |
| к, л          | $0,2 \cos 0,11\tau$       | 0,08  |
| м             | $0,2 \cos 0,14\tau$       | 0,08  |

синусоидальной. Постоянная составляющая момента сопротивлений и емкостное сопротивление ПК в диапазоне значений  $0 < X_c < 0,3 X'_s$  не оказывают существенного влияния на форму кривых периодических составляющих момента и скорости. При  $X_c > 0,3 X'_s$  наблюдаются комбинационные колебания скорости и момента, представляющие собой наложение двух синусоидальных колебаний, обусловленных самораскачиванием и периодической нагрузкой. В этом режиме доминирующим является процесс самораскачивания, и частота периодической составляющей момента сопротивлений с амплитудой  $\Delta M = 0,2$  практически не влияет на частоту и амплитуду самопроизвольных колебаний скорости и момента двигателя.

Формы кривых скорости и момента при  $X_c > 0,3 X'_s$  несинусоидальны, поэтому частотные характеристики двигателя исследовались в диапазоне значений емкостного сопротивления ПК  $0 < X_c < 0,3 X'_s$  или в относительных единицах  $0 < X_c < 0,06$ .

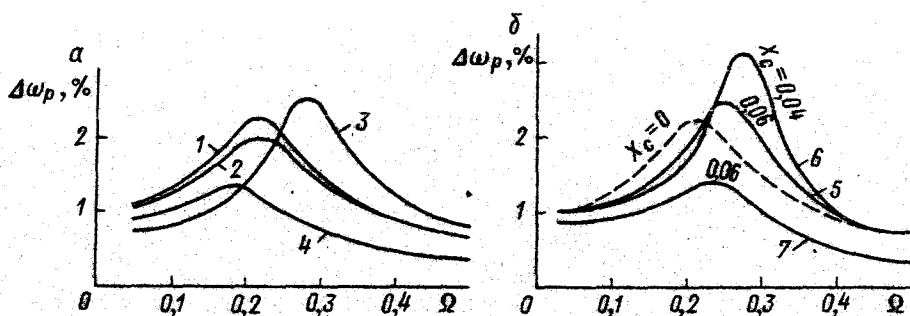


Рис.3. Частотные характеристики асинхронного двигателя: а - при  $X_c = 0$ ; б - при  $X_c \neq 0$

| Кривая | $T_K$ | U         | $M_0$ |
|--------|-------|-----------|-------|
| 1      | 76    | $U_H$     | 0     |
| 2      | 76    | $U_H$     | 0,5   |
| 3      | 76    | $1,2 U_H$ | 0     |
| 4      | 128   | $U_H$     | 0     |
| 5      | 76    | $U_H$     | 0     |
| 6      | 76    | $U_H$     | 0     |
| 7      | 128   | $U_H$     | 0     |

Частотные характеристики асинхронного двигателя (рис.3) при некоторой частоте, зависящей от параметров системы, имеют явно выраженный максимум. В дальнейшем эта частота условно называется резонансной. При отсутствии ПК и номинальном входном напряжении резонансная частота двигателя с указанными выше параметрами составляет примерно 0,2 Гц, а максимальное значение амплитуды периодической составляющей скорости ротора в этом случае равно 2,2% синхронной скорости (кривая 1).

Значение резонансной частоты практически не зависит от постоянной составляющей момента сопротивлений (при  $M_0 \leq M_H$ ), которая оказывает лишь некоторое демпфирующее влияние, уменьшая амплитуду колебаний скорости, особенно вблизи резонансной частоты (кривая 2).

Повышение входного напряжения увеличивает как резонансную частоту, так и максимальную амплитуду колебаний скорости. В рассматриваемом примере повышение входного напряжения на 20% привело к увеличению резонансной частоты на 28%, а максимальной амплитуды периодической составляющей скорости на 14%. Влияние повышения напряжения на частотную характеристику двигателя иллюстрирует кривая 3. В сетях с ПК резонансная частота и максимальная амплитуда колебаний скорости двигателя, как это следует из сравнения кривых 1, 5 и 6, также увеличиваются. ПК с емкостным сопротивлением  $X_c \approx 0,3 X'_c$ , или в относительных единицах,  $X_c = 0,06$ , увеличивает резонансную частоту на 28%, а максимальную амплитуду колебаний скорости ротора на 40%. При этом в области низких частот амплитуды колебаний скорости двигателя с ПК меньше, а в области высоких частот больше, чем амплитуды колебаний скорости двигателя без ПК. Сильное демпфирующее влияние на колебания скорости оказывают дополнительные маховые

массы (передачи и исполнительные органы машины - орудия). Из сравнения кривых 1, 4, а также 6, 7 следует, что при увеличении механической постоянной на 70% наблюдалось уменьшение амплитуды колебаний скорости на 40% в сети без ПК и на 55% в сети с ПК. При этом максимальные значения амплитуд колебаний и в том и в другом случае были примерно одинаковы. Резонансная частота с увеличением механической постоянной уменьшается.