

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА МИНИМИЗАЦИИ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТПН-АД НА КАЧЕСТВО НАПРЯЖЕНИЯ УЧАСТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В основу работы системы минимизации потерь мощности (СМП) положен режим электропривода ТПН-АД, в котором двигатель работает со скольжением, оптимальным по критерию минимума потерь мощности [1,2]. Применение СМП целесообразно и приносит значительный эффект экономии энергии для АД, работающих с неполной нагрузкой. Однако ТПН является источником высших гармоник тока (ВГ) и оказывает отрицательное влияние на систему электроснабжения (СЭС), что проявляется в искажении кривой напряжения источника питания и возможности возникновения резонансных явлений. В основную задачу входит определение коэффициента несинусоидальности на стороне низшего напряжения трансформатора при работе СМП и, как следствие, его влияние на других потребителей электроэнергии.

Несинусоидальность напряжения характеризуется коэффициентом несинусоидальности $K_{нс}$, %, определяемого как отношение значения действующего напряжения высших гармоник U_v к напряжению основной частоты U_1 или номинальному напряжению [3]:

$$K_{нс} = \frac{\sqrt{\sum_v^n U_v^2}}{U_{НОМ}} \cdot 100 \cong \frac{\sqrt{\sum_v^n U_v^2}}{U_1} \cdot 100, \quad (1)$$

где U_v - действующее напряжение v -й гармоники; n - номер последней из учитываемых гармоник.

Нормально допустимое значение коэффициента несинусоидальности для напряжения в СЭС с номинальным напряжением $U_{НОМ} = 0,38$ кВ составляет 8,0%. Предельно-допустимое значение - $K_{нс} = 12\%$.

В качестве примера рассматривается система электроснабжения, содержащая: понижающий трансформатор типа ТМ-100/10 мощностью 100 кВА, напряжением 10/0,4 кВ. Данные опыта короткого замыкания: $U_k = 4,5\%$, $P_k = 1970$ Вт. Данные опыта холостого хода: $I_{xx} = 2,6\%$, $P_k = 330$ Вт. Активное и индуктивное сопротивления, приведенные ко вторичной обмотке трансформатора: $R_{тр} = 0,0053$ Ом, $X_{тр} = 0,072$ Ом соответственно. С учетом длины и удельных показателей активное и индуктивное сопротивление кабельной линии: $R_{каб} = 0,002$ Ом, $X_{каб} = 0,0006$ Ом соответственно. В СЭС выполняется компенсация реактивной мощности с помощью конденсаторной установки УК1-0,415-20Т3 мощностью 20 кВАр и реактивным емкостным сопротивлением $X_{кон} = 8$ Ом. Сопротивление внешней системы ИП носит реактивный характер и составляет $X_{сет} = 0,05$ Ом. Потребителями являются четыре нерегулируемых асинхронных двигателя 4А132М4 мощностью 11 кВт каждый и СМП, в состав которой входит двигатель 4А315S12 мощностью 45 кВт, соизмеримой с мощностью трансформатора.

Для исследования участка СЭС заменяется расчетной схемой (рис. 1), на которой каждый из элементов заменяется собственными эквивалентными сопротивлениями [4]. СМП эквивалентуется источником тока высших гармоник. Расчет высших гармоник напряжения на участке СЭС производится по выражению

$$U_v = Z_{эv} \cdot I_v, \quad (2)$$

где U_v - искомое напряжение v -й гармоники; $Z_{эv}$ - полное эквивалентное сопротивление участка СЭС на частоте этой гармоники; I_v - ток v -й гармоники, обусловленный действием всех источников ВГ.

Особенностью расчетов несинусоидальных режимов в системах электроснабжения с напряжением до 1 кВ является необходимость учета активных сопротивлений элементов СЭС. Отношение эквивалентных реактивного и активного сопротивлений на основной частоте находится в пределах $X/R = 0,3...5$, поэтому неучет активных сопротивлений приводит к значительной погрешности. Сопротивление внешней СЭС можно принимать чисто индуктивным. Изменение индуктивных сопротивлений элементов СЭС можно с достаточной степенью

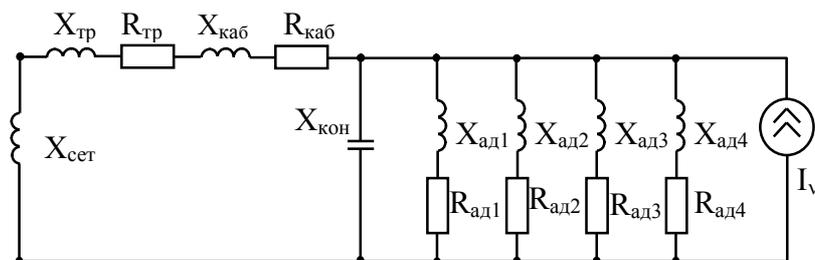


Рис. 1. Расчетная схема замещения участка системы ЭС

достоверности учесть произведением индуктивного сопротивления на основной частоте и коэффициента, определяющего номер гармоники [3].

$$X_v = X \cdot v. \quad (3)$$

Упрощение схемы замещения до полного эквивалентного сопротивления $Z_{эv}$ производится по методике, известной в теории цепей переменного тока. Каждая из ветвей схемы заменяется двумя параллельными ветвями, характеризующимися активной

- G_v и реактивной - B_v проводимостью. После замены всех параллельных ветвей двумя с активной и реактивной проводимостями путем алгебраического сложения осуществляется обратный переход к эквивалентным сопротивлениям R_{3v} и X_{3v} . По известным параметрам эквивалентных активного и реактивного сопротивлений определяется полное эквивалентное сопротивление схемы замещения на частоте v -й гармоники:

$$Z_{3v} = \sqrt{R_{3v}^2 + X_{3v}^2}. \quad (4)$$

В таблице 1 приведены значения полных эквивалентных сопротивлений участка СЭС для исследуемых гармоник.

Таблица 1

v	5	7	11	13	17	19	23	25
ω_v, c^{-1}	1570	2198	3454	4082	5338	5966	7222	7850
$Z_{3v}, \text{Ом}$	0,577	0,781	1,187	1,390	1,800	2,005	2,418	2,624

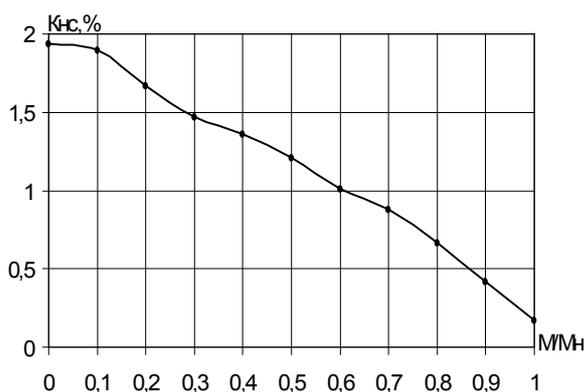


Рис. 2. Кривая зависимости коэффициента несинусоидальности

На рис. 2 представлена кривая изменения коэффициента несинусоидальности на стороне НН питающего трансформатора для случаев работы СМП с различной нагрузкой на валу АД [5]. Результаты показывают, что значения коэффициента несинусоидальности увеличиваются с уменьшением момента на валу АД, а максимальное значение не превышает 2 %, что значительно меньше допустимого значения.

Исследование влияния СМП на СЭС также предусматривает проверку на условие возникновения резонанса токов в схеме замещения, образованной двумя параллельными ветвями с разнохарактерными реактивными сопротивлениями – активно-индуктивного и емкостного. По определению резонансного режима ток \dot{I} должен совпадать по фазе с напряжением \dot{U} . Это возможно при условии, что сумма реактивных проводимостей ветвей равна нулю.

$$\frac{\omega L}{R_1^2 + \omega^2 L^2} = \frac{1/\omega C}{R_2^2 + 1/\omega^2 C^2}. \quad (5)$$

Очевидно, что при расчетных параметрах эквивалентных ветвей и некоторой частоте ω_r будет выполняться условие резонанса. Если эта частота равна или близка к частоте одной из канонических гармоник ТПН, возможен резонанс, который может привести к пробую БК и нарушению нормальной работы электропривода.

В рассматриваемой схеме СЭС резонансная частота составляет $\omega_r = 2486,2$ рад/с, (395,9 Гц) что не допускает возможности возникновения аварийных режимов работы (табл. 1). Для недопущения условия возникновения резонанса необходимо применять в составе СМП силовые фильтры, исходя из состава и уровня высших гармоник, при проектировании СЭС использовать БК с последовательно включенным защитным реактором для обеспечения индуктивного характера цепи на частотах высших гармоник.

Литература

1. Андрищенко О.А., Бойко А.А. Электропривод ТПН-АД с системой автоматической оптимизации энергетики // Электромашинобуд. та електрообладн. - 2001. - Вип. 56. - С. 22-25.
2. Андрищенко О.А., Бойко А.А., Бабийчук О.Б. Особенности режимов минимизации потерь в асинхронных двигателях // Электромашинобуд. та електрообладн. - 2004. - Вип. 62. - С. 24-28.
3. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2000. - 252с.
4. Справочник по проектированию электроснабжения. / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 570 с.
5. Бойко А.А., Мельникова Л.В., Бабийчук О.Б. Методика математического моделирования электропривода ТПН-АД в трехфазных осях // Электромашинобуд. та електрообладн. - 2003. - Вип. 61. - С. 24-28.