

УДК 621.3.078: 621.313.333.2

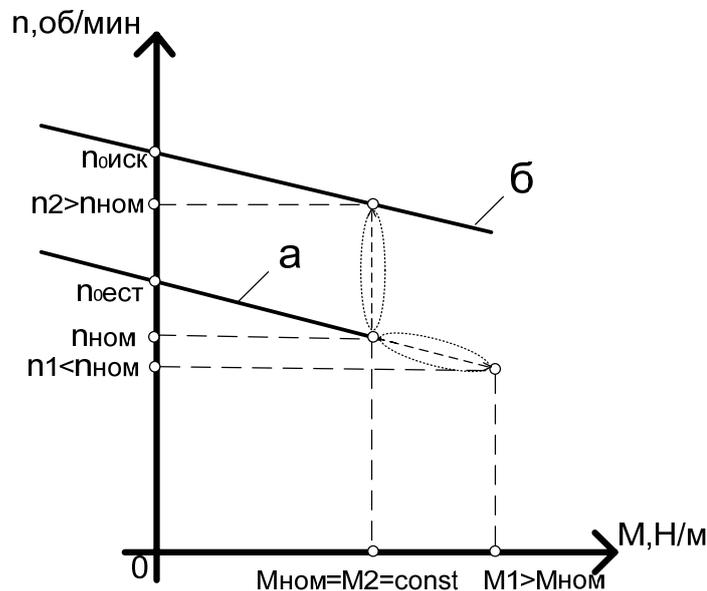
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ В АСИНХРОННОМ
ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Р.Г. Титов, Д.Н. Мирошник

Донецкий национальный технический университет

В работе доказана возможность увеличения мощности в асинхронном электроприводе переменного тока путем одновременного увеличения f и U . Также обоснована энергоэффективность предложенного метода для всей системы преобразователь частоты-асинхронный двигатель.

Постановка задачи. В последнее время большое внимание уделяется исследованию возможности увеличения мощности в асинхронном электроприводе переменного тока, что приводит к повышению потерь в электроприводе (ЭП) [1]. В диссертации разработан способ управления частотно-управляемым ЭП по принципу максимальной эквивалентной нагрузки (рис. 1, а) с учетом влияния других ЭП, которые связаны одним технологическим процессом.



*Рис.1 – Механические характеристики асинхронного ЭП:
а) естественная (увеличение мощности за счет увеличения нагрузки на двигатель); б) искусственная (увеличение мощности за счет регулирования скорости вверх от номинальной без ослабления поля)*

Этот способ заключается в регулировании времени паузы самой критической с точки зрения перенагрузки ЭП путем ограничения на скорость взаимосвязанного ЭП в зависимости от его теплового состояния, который определяется с помощью тепловой модели.

В работе [1] установлено, что перегрузочная способность частотно-управляемого ЭП зависит от скорости вращения двигателя. При этом эта зависимость носит экстремальный характер. Максимальная перегрузочная способность достигается при скорости рядом с 0,75 номинальной в случае использования двигателя с самоохлождением.

В то же время, остаются неисследованными вопросы увеличения мощности за счет регулирования скорости вверх от номинальной без ослабления поля (рис. 1, б). В первую очередь, это связано с питанием двигателя, напряжением и частотой выше номинального значения. Это возможно, поскольку ПЧ может увеличивать частоту и амплитуду выходного напряжения выше номинального, в случае, если [2]:

- используется активный выпрямитель напряжения (АВН) с повышающим свойством, способным увеличивать напряжение в звене постоянного тока.

- при использовании перемодуляции в автономном инверторе напряжения (АИН).

В первом случае, мы имеем способность повысить напряжение в звене постоянного тока с 535 В до 600 В (рис. 2, а). Т.е. ПЧ оказывается недоиспользованным по напряжению в звене постоянного тока (приблизительно на 10%).

Тогда, при увеличении напряжения в звене постоянного тока, возможно увеличение напряжения на двигатель, также на 10%, что в свою очередь приведет к увеличению производительности электропривода, что необходимо и возможно использовать.

В схеме (рис. 2,б) при переходе в генераторный режим (рис. 2,а) возникает динамическая ошибка в регулировании U_{dc} , сопровождающаяся увеличением данной величины. Поскольку транзисторные модули жестко регламентируются по напряжению, в дальнейших исследованиях, планируется создание быстродействующей системы управления ЭП для уменьшения динамической ошибки в отработке заданного напряжения в звене постоянного тока. Для этого система должна быть астатичной к нагрузке или иметь минимальный статизм.

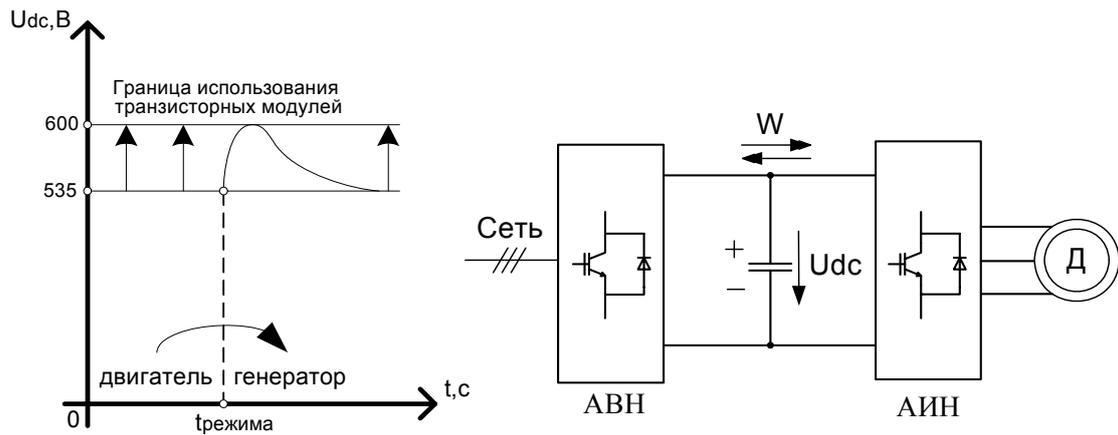


Рисунок 2 – Напряжение в функции времени $U_{dc}(t)$ асинхронного ЭП (а); ПЧ в звене постоянного тока (б)

Цель работы. Цель работы – исследовать возможность увеличения мощности асинхронного двигателя (АД) за счет регулирования скорости вверх от номинальной при постоянном магнитном потоке. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать влияние предложенных принципов регулирования напряжения и частоты на тепловое состояние АД.
2. Проанализировать влияние предложенных принципов регулирования напряжения и частоты на тепловое состояние транзисторных ключей.
3. Оценить изменение общего КПД системы.

Результаты исследований. При работе асинхронного двигателя (АД) происходит процесс преобразования электрической энергии переменного тока в механическую энергию вращательного движения. Это преобразование, как и в других электрических машинах, связано с потерями энергии (рис.3), поэтому полезная мощность на выходе двигателя P_2 всегда меньше мощности на входе P_1 на величину потерь мощности $\sum P$:

$$P_2 = P_1 - \sum P. \tag{1}$$

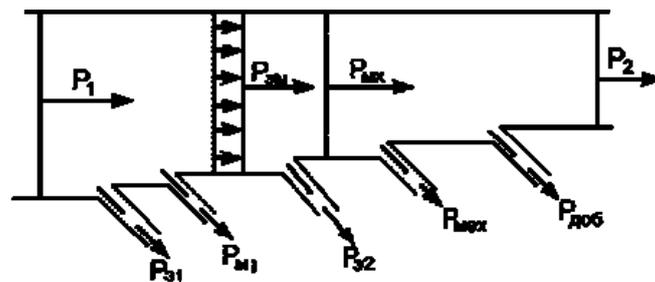


Рисунок 3 – Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя

Потребляемая из сети активная мощность:

$$P_1 = mU_1I_1\cos\varphi_1, \quad (2)$$

где m – количество фаз, U_1 – напряжение на статорной обмотке, I_1 – ток в статорной обмотке, $\cos\varphi_1$ – коэффициент мощности двигателя.

Протекающий по обмоткам ток вызывает нагрев этих обмоток, поэтому потребляемая из сети мощность частично теряется в обмотке статора в виде электрических потерь:

$$P_{\vartheta 1} = m \cdot I_1^2 \cdot R_1, \quad (3)$$

где R_1 – активное сопротивление обмотки статора.

В нашем случае нагрузка на валу остается та же, следовательно токи в обмотках статора не возрастают, а значит и электрические потери в статоре $P_{\vartheta 1}$ не возрастают.

Перемагничивание сердечника статора сопровождается магнитными потерями P_{m1} . Эти потери в асинхронном двигателе вызваны потерями на гистерезис и на вихревые токи [3, 4]:

$$P_{m1} = f_1^v \cdot \Phi_m^2 \cdot k, \quad (4)$$

где f_1 – частота тока перемагничивания, которая равна частоте тока в сети; $V = 1.3-1.5$ – эмпирический коэффициент; Φ_m – магнитный поток; k – коэффициент.

Магнитные потери составляют 20% от общих потерь [5]. Поэтому при увеличении частоты на 10%, они увеличиваются на 13%. В относительных единицах магнитные потери увеличивают общие потери на 2%.

Оставшаяся часть мощности представляет собой электромагнитную мощность $P_{эм}$, передаваемую со статора на ротор с помощью магнитного поля, через воздушный зазор.

$$P_{эм} = P_1 - (P_{\vartheta 1} + P_{m1}). \quad (5)$$

Часть этой мощности теряется в виде электрических потерь в обмотке ротора:

$$P_{\vartheta 2} = m \cdot I_2^2 \cdot R_2, \quad (6)$$

где I_2 – ток в роторе, R_2 – активное сопротивление ротора.

Выражение (6) можно представить в виде:

$$P_{\vartheta 2} = P_{эм} - P_{мех} = \omega_1 \cdot M - \omega \cdot M = M \frac{(\omega_1 - \omega)}{\omega_1} \cdot \omega_1 = P_{эм} \cdot s = const, \quad (7)$$

где ω_1 – синхронная скорость и ω – скорость вращения ротора.

При повышении скорости вращения двигателя – скольжение уменьшается, а электромагнитная мощность увеличивается, в общей сумме электрические потери в роторе остаются постоянными.

Во вращающейся машине, кроме электрических и магнитных потерь, возникают также механические потери мощности $P_{мех}$. Они состоят из потерь на трение в подшипниках, о воздух. А также вентиляционные потери в вентиляторе для обдува.

Кроме вышеперечисленных основных потерь, есть еще добавочные потери $P_{доб}$. Они включают в себя все виды трудно учитываемых потерь, вызванных действием высших гармоник магнитодвижущих сил (МДС), пульсацией магнитной индукции в зубцах и другими причинами. В соответствии с государственным стандартом добавочные потери асинхронных двигателей принимают равными 0,5% от подводимой к двигателю мощностью P_1 : $P_{доб} = 0,005 P_1$.

С учетом (2-7), сумма всех потерь:

$$\sum P = P_{\varepsilon 1} + P_{m1} + P_{\varepsilon 2} + P_{мех} + P_{доб}. \quad (8)$$

Оставшаяся после вычета потерь (1) мощность P_2 составляет полезную механическую мощность на валу.

У асинхронного двигателя КПД

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum P}{P_1} = 1 - \frac{\sum P}{P_1}. \quad (9)$$

В диссертации [1], напряжение не регулируется, мощность увеличивают с увеличением нагрузки на двигатель, при этом токи в статоре также увеличиваются, что в свою очередь приводит к быстрому нагреву двигателя, следовательно увеличению потерь мощности.

При одновременном увеличении f и U – увеличиваются только магнитные потери (4, 8). Однако их увеличение на 2% (в о.е.) от общих потерь оказывает незначительное влияние на тепловое состояние двигателя, и может быть скомпенсировано в полной мере для двигателей с самовентиляцией [3]. Возможна также корректировка закона управления ПЧ-АД, предполагающая незначительное снижение магнитного потока, при котором магнитные потери будут постоянными (4). При этом возможно использовать двигатель с принудительной вентиляцией.

С учетом (4, 9) можно сделать вывод, что реальный КПД двигателя увеличивается на 0.5-1 % (большие цифры соответствуют большим номинальным значениям КПД асинхронных двигателей).

КПД АИН и АВН уменьшится за счет увеличения коммутационной составляющей потерь полупроводниковых приборов на 10% [6]. При этом напряжение на ключах не превысит паспортного значения 600В.

Потери проводимости полупроводниковых приборов [6], зависящие от выходного тока, при этом останутся неизменными у АИН, а у АВН увеличатся на 10% за счет увеличения тока сети, пропорционального выходной мощности АИН. Следовательно мощность АВН будет завышена, и выбирается по окончательной мощности АД.

Поскольку потери суммарные потери АИН и АВН составляют порядка 4% [6] от выходной мощности, следовательно, при увеличении напряжения на 10% общий КПД преобразователя уменьшится не более чем на 0.4%. При этом общий КПД системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель не уменьшится.

Выводы

В работе доказана возможность увеличения мощности в асинхронном электроприводе переменного тока путем одновременного увеличения f и U . Доказана энергоэффективность предложенного метода увеличения мощности.

Перечень ссылок

1. Худойий С.С. Повышение эффективности работы частотного ЭП путем управления по максимально нагрузочной способностью: диссертация на получение научной степени кандидата технических наук / С.С. Худойий. – Днепропетровск: НГУ. – 2014. – 177 с.
2. Шавьолкін О.О. Перетворювальна техніка: навчальний посібник / О.О. Шавьолкін, О.М. Наливайко; за загальною ред. канд. техн. наук, доц. О.О. Шавьолкіна. – Краматорськ: ДДМА, 2008. – 328с.
3. Шрейнер Р.Т. Электромеханические и тепловые режимы асинхронного двигателя в системах частотного управления: Учебное пособие. / Р.Т. Шрейнер, А.В. Костылев. – Екатеринбург: 2008. – 360 с.
4. Пивняк Г.Г. Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы с широтно-импульсной модуляцией: Монография / Г.Г. Пивняк, А.В. Волков – Днепропетровск: НГУ, 2006. – 470 с.
5. Шавьолкін О.О. Експериментальне визначення модуляційних втрат енергії в асинхронному двигуні / О.О. Шавьолкін, Д.М. Мірошник, В.В. Божко// Збірник наукових трудів «Гірнична електромеханіка та автоматика». – Дн-ськ: НГУ. – 2013. – вип. 91 – С. 25-29.
6. Шавёлкин А.А. Расчет потерь мощности в силовых ключах преобразователя частоты с промежуточным импульсным преобразователем напряжения/ А.А. Шавёлкин, Д.Н. Мирошник// Наукові праці ДонНТУ. Серія «Електротехніка та Енергетика», випуск 98, Донецьк: ДонНТУ, 2005. – С.116-120.