

Г.С. Чекавский

Минимизация влияния питающей сети на работу асинхронного электропривода путем использования ступенчатой поперечной компенсации реактивной мощности

Объект исследований. Рассматривается электрическая система (рисунок 1). Напряжение посредством понижающего трансформатора (РТ) и цеховой распределительной сети подается на зажимы трехфазного асинхронного электродвигателя (АД) номинальным напряжением 380, 660 или 1140 В. Для

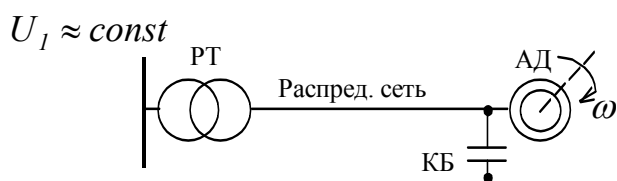


Рисунок 1 – Схема электрической системы

компенсации реактивной мощности (РМ), потребляемой АД, параллельно двигателю установлена батарея косинусных конденсаторов (КБ). Примем, что практически синусоидальное напряжение

высоковольтной сети U_1 имеет постоянную амплитуду (потери напряжения в сети высокого напряжения по сравнению с потерями напряжения в сети низкого напряжения достаточно малы).

Цель и задачи исследований. Как известно, компенсация РМ, потребляемой АД, позволяет повысить коэффициент мощности ($\cos \varphi$) электропривода (ЭП), снизить потребляемый реактивный ток, следовательно, уменьшить потери напряжения в питающей сети, компенсировать таким образом негативное влияние последней на работу АД. Тиристорные конденсаторные установки, позволяющие плавно изменять компенсирующую мощность, относительно весьма дороги, и на настоящий момент не нашли широкого применения на территории СНГ. По этой причине с целью повышения напряжения на зажимах АД целесообразно использовать ступенчатое регулирование мощности КБ, обеспечивающее индивидуальную компенсацию реактивного тока отдельного потребителя.

Алгоритм выбора мощности КБ и ее отдельных секций в объекте, аналогичном рассматриваемому, для получения желаемого уровня напряжения на зажимах АД при одновременном повышении $\cos \varphi$ ЭП в целом, достаточно подробно изложен в [1]. Целью настоящей работы является определение возможности исключения или минимизации негативного влияния питающей сети на работу АД на основании анализа статических и динамических характеристик ЭП.

Будем считать, что негативное влияние (далее по тексту – влияние) питающей сети на работу ЭП можно исключить полностью, если для каждого режима работы удастся подобрать такое значение мощности КБ, которое обеспечит уровень напряжения на зажимах АД, равный значению входного напряжения (под входным напряжением будем понимать значение напряже-

ния в начале сети, влияние которой необходимо исключить, приведенное к номинальному напряжению АД). Под минимизацией влияния питающей сети будем понимать обеспечение заданной величины минусового отклонения напряжения в конце сети по сравнению с его уровнем в начале сети.

Для достижения поставленной цели необходимо: 1) Определить требуемый уровень компенсации РМ, необходимый для исключения или минимизации влияния питающей сети на работу ЭП в зависимости от значений продольных параметров питающей сети и их соотношения; 2) Определить необходимое и достаточное количество секций КБ для обеспечения минимизации влияния сети; 3) Провести анализ влияния параметров распределительной сети и уровня компенсации РМ на статические и динамические характеристики ЭП.

Поскольку наибольший уровень потребляемой двигателем РМ имеет место при пуске АД, особое внимание следует уделить минимизации влияния питающей сети в этом режиме. Вопрос экономической эффективности использования поперечной компенсации в данной работе не рассматривается.

С целью получения более общих результатов, которые могут быть распространены на большую группу аналогичных объектов, при исследованиях использована система относительных единиц (о.е.) с ориентацией на переменные цепи статора и электромагнитную мощность АД [2].

Схема замещения ЭП. Принимая во внимание относительно небольшую протяженность распределительной сети, наличие токов утечки в сети ввиду их малости не учитывается. Параметры АД определяются по методике [3]. С целью упрощения расчетов не учитываются потери в стали статора и ротора. Предполагается, что КБ соединена в звезду.

Таким образом, схема замещения ЭП, составленная для одной фазы, имеет вид, показанный на рисунке 2. Напряжения и токи на отдельных участках показаны как обобщенные (результатирующие) комплексные векторы.

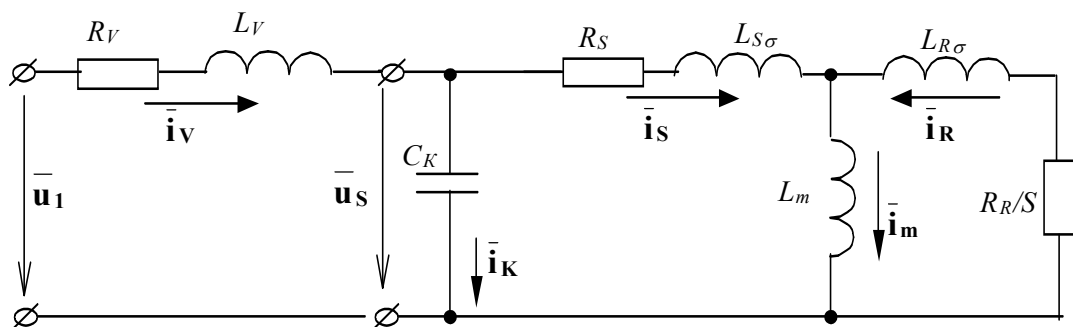


Рисунок 2 – Упрощенная эквивалентная схема замещения электропривода:

R_V , L_V – эквивалентные продольные параметры распределительной сети (суммарные, приведенные к напряжению вторичной обмотки РТ, активное сопротивление и индуктивность фазы всех элементов, расположенных между источником питания и АД), влияние которой требуется исключить или минимизировать; R_S , R_R , $L_{S\sigma}$, $L_{R\sigma}$, L_m – параметры схемы замещения АД (активные сопротивления фазы статора и приведенное фазы ротора, индуктивности рассеяния статора и приведенная ротора и взаимоиндуктивность); C_K – фазная емкость КБ;

S – скольжение АД.

Исследования проведем на примере АД со следующими параметрами схемы замещения (в о.е.), определенными с использованием [3]:

$$R_S = 0,017; L_{S\sigma} = 0,114; L_m = 2,621;$$

$$R_R = 0,010 + 0,044\sqrt{S}; L_{R\sigma} = 0,084 + \frac{0,012}{\sqrt{S}}.$$

Поскольку сформулированные задачи предполагают исследование влияния на работу АД как полного сопротивления питающей сети, так и соотношения ее параметров, последние удобно представить в следующем виде (рисунок 3):

$$R_V = Z_V \cos \varphi_V; L_V = \frac{Z_V}{\omega_S} \sin \varphi_V,$$

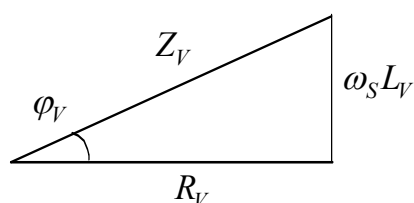


Рисунок 3 – Треугольник сопротивлений питающей сети

где Z_V – полное продольное сопротивление питающей сети; φ_V – угол между активным и полным сопротивлениями треугольника сопротивлений сети; $\omega_S = 1$ – угловая частота питающей сети, равная промышленной.

Полное сопротивление сети в этом случае в о.е. численно равно относительным потерям напряжения в сети при протекании по ней тока, равного базовому току.

Количественные зависимости. Рассмотрим зависимости напряжения на зажимах АД, токов сети, статора АД и КБ, а также $\cos \varphi$ ЭП в функции фазной емкости параллельно включенной КБ, если угол сети $\varphi_V = 0,4$, то есть, имеет место преобладание активной составляющей в полном сопротивлении сети (рисунок 4). Из анализа количественных зависимостей можно сделать следующие выводы: 1) полностью исключить негативное влияние питающей сети на работу ЭП в период пуска можно при сопротивлении питающей сети рассматриваемого объекта, не превышающем 0,06, в остальных случаях можно вести речь лишь о минимизации влияния питающей сети; 2) характерное значение фазной емкости параллельно включенной КБ, при котором $\cos \varphi$ становится равным единице, не зависит от величины сопротивления питающей сети (для данного объекта это значение равно 4,35 о.е.); 3) диапазоном значений фазной емкости КБ, в котором применение поперечной компенсации технически эффективно, следует считать такой, в котором ток сети не превышает своего значения при отсутствии компенсации и питании АД от абсолютно жесткой сети (кривые для $Z_V = 0$ при $C_K = 0$).

Принимая во внимание определенную симметричность кривой тока сети относительно прямой $C_K = C_{КХП} = 4,35$, диапазон приемлемых значений фазной емкости КБ можно представить в виде:

$$C_{КЭ} = 0 \dots 2C_{КХ}. \quad (1)$$

Это выражение приближенно отражает условие, при соблюдении которого ток сети не будет превышать его значения при отсутствии компенсации (диа-

пазон технически эффективных значений фазной емкости КБ). Здесь $C_{КХ}$ – характерное значение фазной емкости КБ (для режима пуска выше использовано обозначение $C_{КХ} = C_{КХП}$).

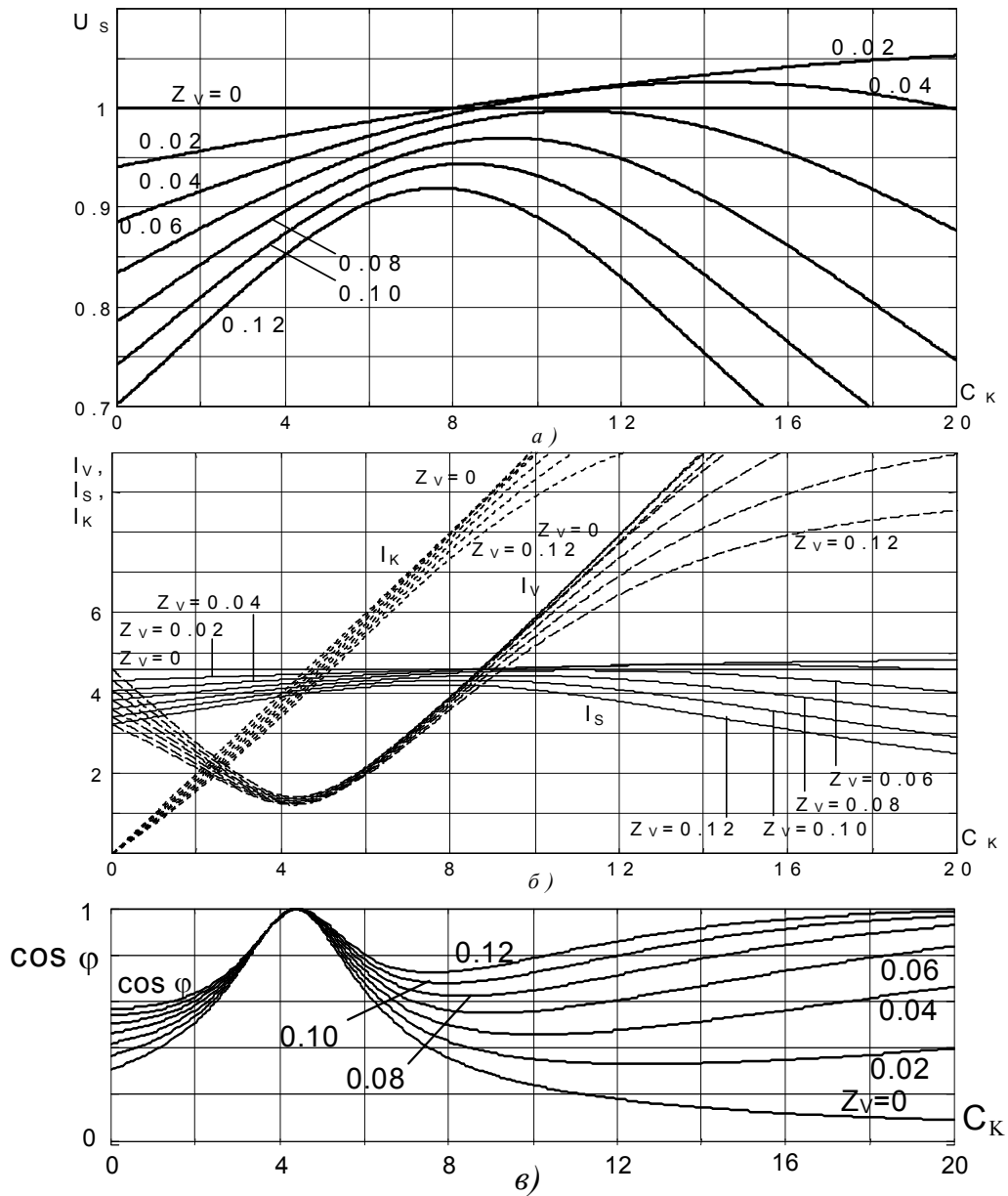


Рисунок 4 – Количественные зависимости параметров ЭП с поперечной компенсацией для режима пуска ($\varphi_V = 0,4$)

Рассмотрим другой случай, когда угол сети $\varphi_V = \pi/2 - 0,4$ (имеет место преобладание индуктивной составляющей в полном сопротивлении сети). Оценим влияние соотношения параметров питающей сети на характер количественных зависимостей.

На рисунке 5 показаны зависимости напряжения на зажимах АД, токов сети, АД и КБ, а также коэффициента мощности ЭП в функции фазной емкости параллельно включенной КБ для случая, когда сопротивление сети $Z_V = 0,04$. Сплошными линиями представлены зависимости при преобладании в полном сопротивлении питающей сети активной составляющей, а прерывистыми – индуктивной.

Анализ зависимостей (рисунок 5) позволяет отметить: 1) соотношение активного и индуктивного сопротивлений питающей сети практически не оказывает влияния на характерное значение фазной емкости КБ, при котором имела бы место полная компенсация РМ, ввиду незначительной индуктивности сети по сравнению с индуктивностью АД; 2) в случае преобладания индуктивной составляющей в полном сопротивлении сети при увеличении мощности компенсирующей КБ повышение напряжения на зажимах АД происходит более интенсивно, следовательно, расширяются возможности для эффективного применения поперечной компенсации; 3) так как кривые тока сети при значениях фазной емкости КБ в диапазоне (1) практически совпадают, диапазон эффективных значений фазной емкости КБ от соотношения параметров питающей сети практически не зависит.

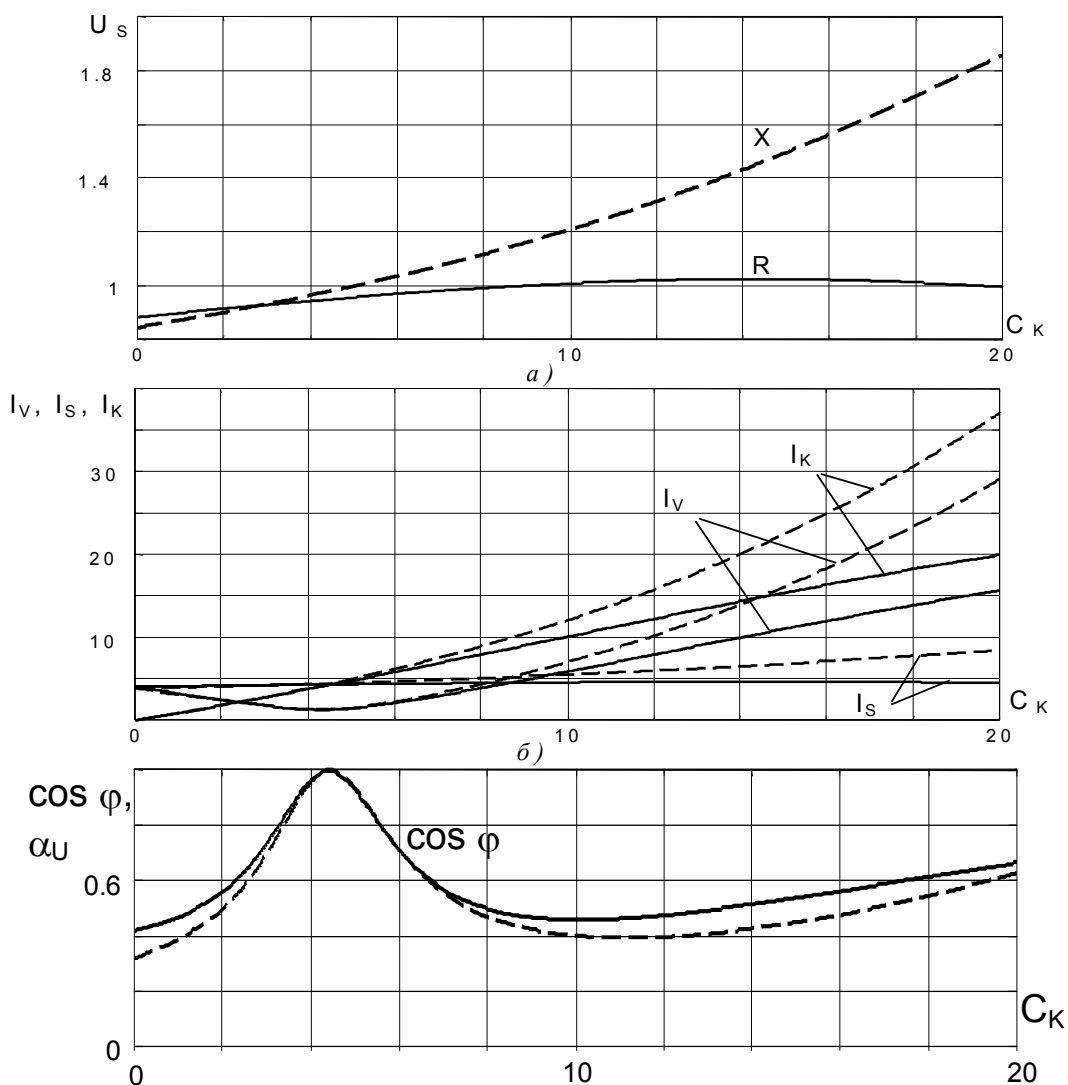


Рисунок 5 – К анализу влияния соотношения активной и индуктивной составляющих в полном сопротивлении сети на количественные зависимости электропривода с поперечной компенсацией реактивной мощности

Возможность эффективного применения поперечной компенсации с целью исключения влияния питающей сети на характеристики ЭП может быть оценена более точно, если определить зависимость наименьшего значения фазной емкости, необходимой для этого, в функции угла сети φ_V (рису-

нок б). Таким образом, *исключить влияние питающей сети возможно при использовании перекомпенсации РМ (при $C_K > C_{КП}$)*. При большой доле активного сопротивления (малых углах φ_V) возможность этого ограничена, поскольку перекомпенсация становится неэффективной.

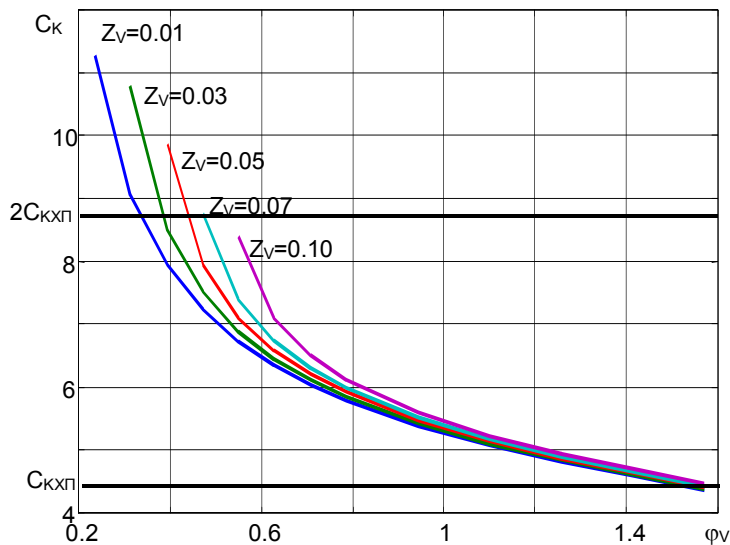


Рисунок 6 – Зависимости фазной емкости КБ, необходимой для полного исключения влияния питающей сети при пуске АД, в функции угла сети

Для случаев, когда полностью исключить влияние питающей сети на работу АД не удастся или технически или экономически не выгодно, целесообразно проанализировать возможность минимизации влияния питающей сети для обеспечения уровня напряжения в конце сети по сравнению с ее началом по ГОСТ [4]. При разных значениях сопротивления питающей сети были определены значения фазной емкости КБ (наименьшие), позволяющие обеспечить 5%-ное и 10%-ное минусовое отклонение напряжения в конце сети по сравнению с ее началом (рисунок 7). Фактически это означает, что при входном напряжении, равном номинальному напряжению АД, значение напряжения на зажимах двигателя в период пуска будет находиться соответственно в зоне А или зоне Б, определяемых [4].

Фактически это означает, что при входном напряжении, равном номинальному напряжению АД, значение напряжения на зажимах двигателя в период пуска будет находиться соответственно в зоне А или зоне Б, определяемых [4].

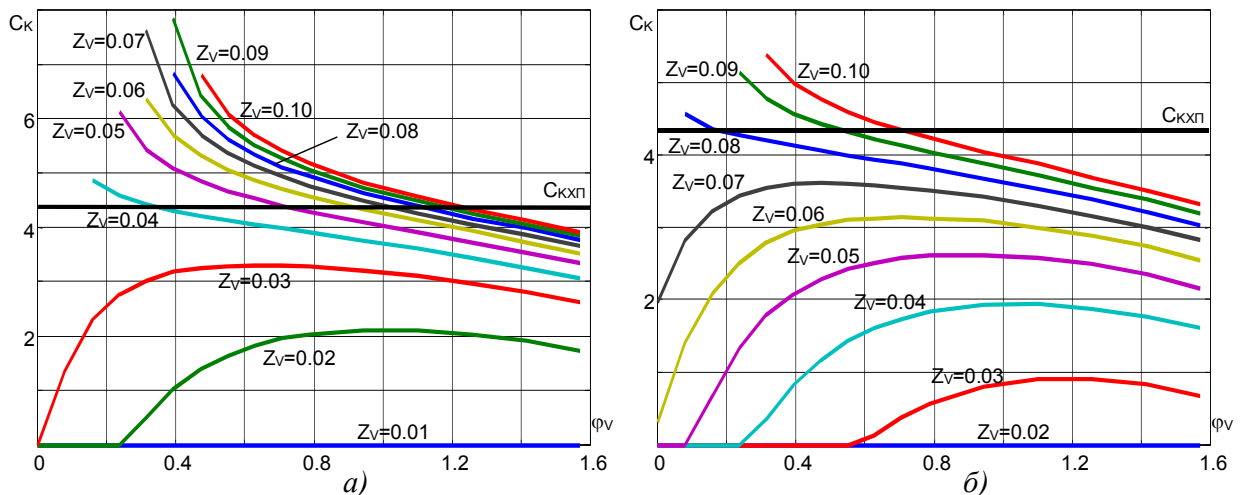


Рисунок 7 – Зависимости фазной емкости КБ, необходимой для обеспечения 5%-ного (а) и 10%-ного (б) отклонения напряжения в конце сети по сравнению с ее началом, в функции угла сети

Зависимости рисунка 7 позволяют определить значения фазной емкости КБ, необходимые для обеспечения требуемого уровня напряжения на зажимах АД.

Ранее нами было определено [1, 5], что в установившихся штатных режимах работы ЭП применение поперечной компенсации реактивного тока

сети является более эффективным, чем обеспечение высокого $\cos \varphi$ ЭП, если к последнему предъявляются жесткие требования по уровню напряжения на зажимах приводного АД либо по устойчивости работы.

Для установившихся режимов (АД работает на линейной части механической характеристики) могут быть получены зависимости, аналогичные приведенным на рисунках 4 – 7. Основное их отличие будет заключаться в том, что характерное значение $C_{КХН}$ фазной емкости КБ значительно меньше его значения $C_{КХП}$ при пуске, следовательно, диапазон (1) эффективных значений будет значительно более узким.

На рисунке 8 показаны зависимости наименьшего значения фазной емкости КБ, необходимой для исключения влияния питающей сети, в функции угла сети φ_V , если АД работает с нагрузкой, близкой к номинальной (при скольжении 1,5%). Очевидно, что полное исключение влияния питающей сети возможно при значениях угла $\varphi_V > 0,92...0,97$, чему примерно соответствует отношение параметров сети $\omega_S L_V / R_V > 3/2$. В противном случае ток се-

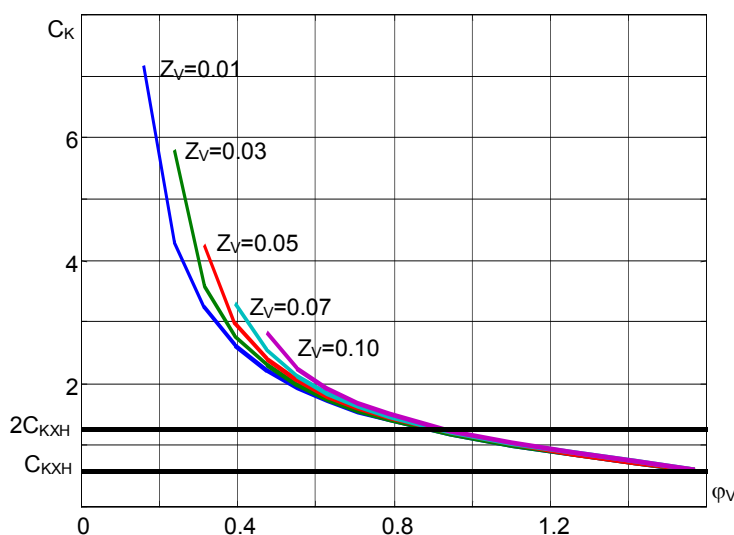


Рисунок 8 – Зависимости фазной емкости КБ, необходимой для исключения влияния питающей сети на работу АД в режиме номинальной нагрузки, в функции угла сети

ти превышает его величину при отсутствии компенсации и питании АД от абсолютно жесткой сети. Именно поэтому, как показано в [5], в режиме нагрузки более целесообразным является обеспечение высокого $\cos \varphi$ ЭП.

Для номинального режима работы АД выражение (1) достаточно точно отражает условие, при соблюдении которого ток сети не будет превышать значения, длительно допустимого для про-

водника питающей сети. Таким образом, вопрос об эффективности применения поперечной компенсации для минимизации негативного влияния питающей сети в штатном режиме нагрузки должен рассматриваться с непременным соблюдением условия (1).

В случаях, когда АД работает с нагрузкой, меньшей номинальной (что чаще всего имеет место на практике), а также при переменном или стохастическом характере нагрузки зависимости фазной емкости могут быть скорректированы (рассчитаны для среднего значения скольжения). При этом характерное значение фазной емкости будет меньшим и, следовательно, кривые для случая частичной загрузки будут расположены несколько ниже по сравнению с показанными на рисунке 8.

Статические характеристики ЭП. На основании их анализа может быть определено необходимое и достаточное количество секций КБ [1, 5]. На

рисунке 9 показаны статические зависимости напряжения на зажимах АД в функции скольжения при разных уровнях компенсации РМ для объектов с $Z_V = 0,04$, и углами сети, равными $\varphi_V = 0,4$ и $\varphi_V = \pi/2 - 0,4$.

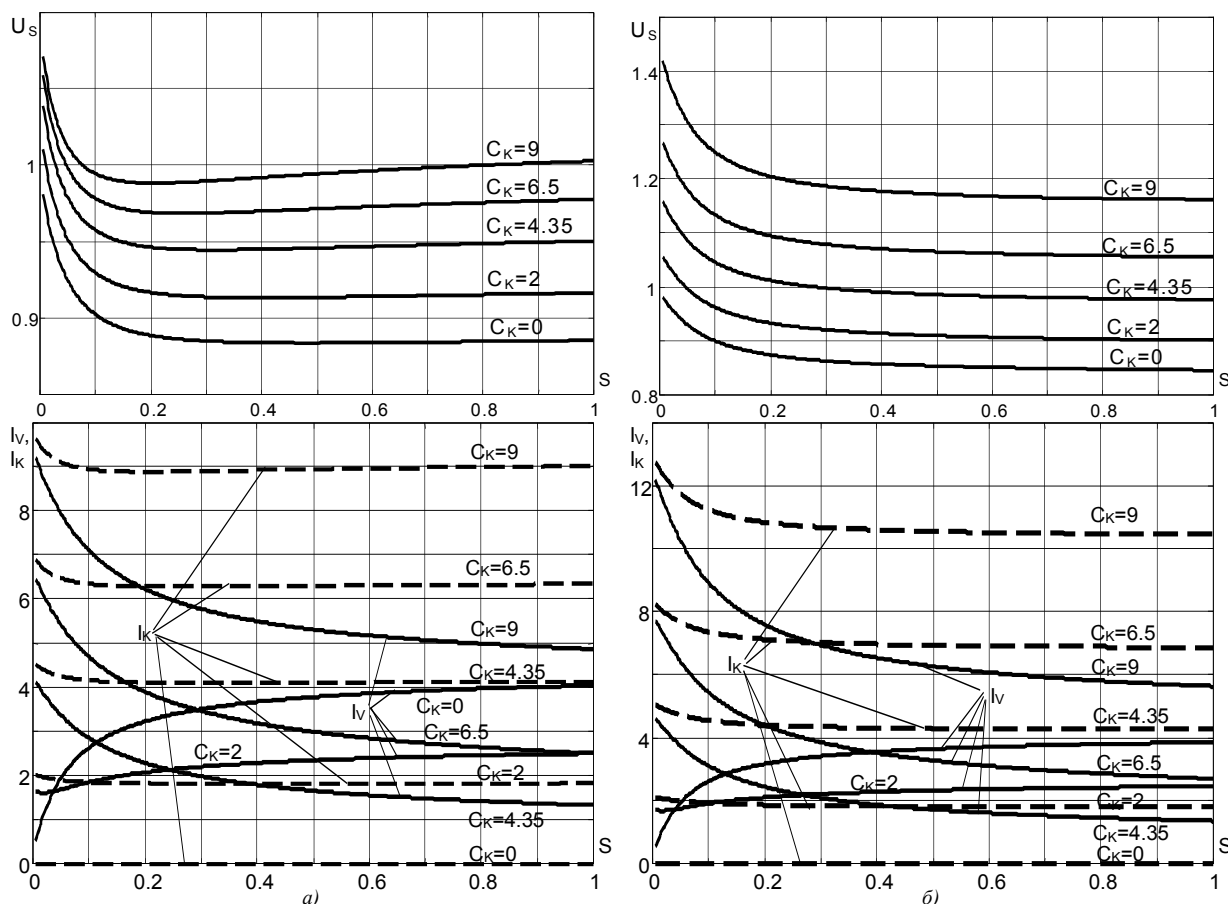


Рисунок 9 – Зависимости напряжения на зажимах двигателя, тока сети и тока КБ в функции скольжения при разных уровнях компенсации реактивной мощности:

- а – сеть с преобладающей активной составляющей сопротивления;
- б – сеть с преобладающей индуктивной составляющей сопротивления.

Анализ характеристик показывает: 1) в зоне высоких скольжений АД напряжение на его зажимах мало зависит от скольжения, следовательно, для компенсации РМ при пуске может быть использована одна компенсирующая ступень (мощность КБ); 2) для той же ступени при перекомпенсации РМ ток сети в зоне критического скольжения может существенно превышать его величину при $S = 1$ (особенно если в сети преобладает индуктивная составляющая сопротивления), следовательно, можно использовать дополнительную ступень для снижения тока в этой зоне; 3) в зоне скольжений, близких к номинальному, компенсирующая ступень должна обеспечивать требуемое значение $\cos\varphi$ и (или) требуемый уровень напряжения на зажимах АД при значении тока сети, лежащем в допустимых пределах.

Кроме того, если для ЭП не исключается работа в режиме холостого хода, целесообразно обеспечивать здесь высокий $\cos\varphi$ [5]. В случаях, когда в штатных режимах к ЭП не предъявляются требования по поддержанию напряжения и (или) $\cos\varphi$ на необходимом уровне, компенсация РМ может не производиться.

Таким образом, в зависимости от параметров сети и требований к ЭП компенсирующая КБ может иметь 2...4 секции, одна из которых постоянно введена в работу (или отсутствует, если компенсация не производится), а остальные включаются при увеличении потребления АД реактивной мощности.

Сохранение перегрузочной способности АД. В [1, 5] было показано, что при определенных параметрах сети путем использования поперечной компенсации РМ невозможно исключить влияние сети таким образом, чтобы перегрузочная способность АД по критическому моменту сохранила прежнее значение (как в случае питания АД от абсолютно жесткой сети). Определим, как влияет на возможность сохранения перегрузочной способности АД величина и соотношение параметров питающей сети.

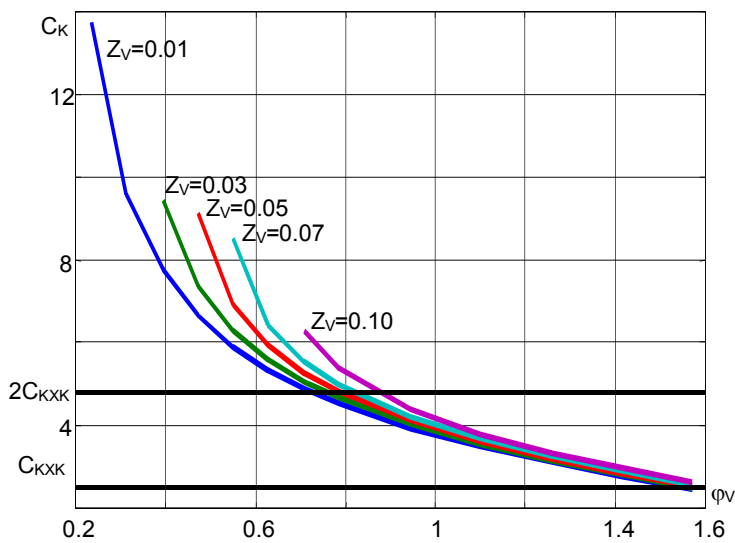


Рисунок 10 – Зависимости фазной емкости КБ, необходимой для сохранения перегрузочной способности АД по критическому моменту, в функции угла сети

С этой целью проанализирована зависимость наименьших значений фазной емкости, необходимой для полного устранения влияния питающей сети, в функции угла сети \$\varphi_v\$ при критическом скольжении АД (рисунок 10), из которой следует, что при преобладании в сопротивлении сети индуктивной составляющей сохранение перегрузочной способности возможно при любом сопротивлении сети, влияние которой минимизируется.

В других случаях для этого могут потребоваться значительные компенсирующие мощности, а иногда (при большой доле активной составляющей сопротивления сети) сохранение перегрузочной способности становится невозможным вообще.

Динамические свойства ЭП. Для анализа динамических свойств ЭП с поперечной компенсацией РМ использовалось математическое описание [6], записанное в обобщенных векторах в системе координат \$\alpha, \beta, \theta\$, жестко связанной со статором АД:

$$\left. \begin{aligned} \bar{\mathbf{u}}_1 &= \bar{\mathbf{u}}_s + (R_v + L_v p)\bar{\mathbf{i}}_v; \\ \bar{\mathbf{u}}_s &= (R_s + L_s p)\bar{\mathbf{i}}_s + L_m p\bar{\mathbf{i}}_r; \\ 0 &= L_m(p - j\omega)\bar{\mathbf{i}}_s + [R_r + L_r(p - j\omega)]\bar{\mathbf{i}}_r; \\ \bar{\mathbf{u}}_s &= [L_k p + 1/(C_k p)]\bar{\mathbf{i}}_k; \\ \bar{\mathbf{i}}_v &= \bar{\mathbf{i}}_s + \bar{\mathbf{i}}_k, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $p = d/dt$ – оператор дифференцирования; ω – частота вращения ротора АД; L_K – индуктивность реактора (реактирующая индуктивность), включаемого последовательно в каждую фазу КБ с целью ограничения производной тока фазы \dot{i}_K .

Динамические свойства ЭП определены на основании решения системы (2), линеаризованной при $\omega = const$. Для упрощения решения положено $L_K = 0$. Характеристическое уравнение системы (2) имеет вид:

$$\begin{aligned} & \sigma L_S L_V L_R C_K p^4 + [\sigma L_S L_R R_V + (L_S R_R + R_S L_R - j\omega \sigma L_S L_R) L_V] C_K p^3 + \\ & + [(R_R - j\omega L_R) L_V R_S C_K + (L_V + \sigma L_S) L_R + (L_S R_R + R_S L_R - j\omega \sigma L_S L_R) R_V C_K] p^2 + \\ & + [(R_R - j\omega L_R)(L_V + R_V R_S C_K) + (L_S R_R + R_S L_R - j\omega \sigma L_S L_R) + L_R R_V] p + \\ & + (R_R - j\omega L_R)(R_V + R_S) = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\sigma = 1 - L_m^2 / (L_S L_R)$ – коэффициент рассеяния.

Уравнение (3) является линейным алгебраическим четвертой степени с комплексными коэффициентами и имеет четыре комплексных корня вида $-\alpha_{cв} + j\omega_{cв}$. Это значит, что в переходном режиме векторы всех токов и напряжений ЭП будут иметь, помимо установившихся, по четыре свободных составляющих, интенсивность затухания которых характеризуется значением $\alpha_{cв}$, а частота изменения – значением $\omega_{cв}$.

Для решения уравнения (3) удобнее всего применить методы численного решения. Анализ решений при $Z_V = 0,03$ показал, что ток сети будет иметь четыре свободных составляющих, две из которых высокочастотные, изменяющиеся в противофазе, и, в зависимости от соотношения параметров сети, затухающие с большей или меньшей интенсивностью. Частоты изменения двух высокочастотных составляющих мало зависят от частоты вращения ротора АД и характера сопротивления сети, определяются в основном фазной емкостью параллельно включенной КБ и уменьшаются при увеличении уровня компенсации (рис.11а). Коэффициенты затухания этих составляющих мало зависят от уровня компенсации и от частоты вращения ротора АД, но зависят от соотношения параметров питающей сети – интенсивность их затухания уменьшается при снижении доли активной составляющей в полном сопротивлении сети (рис.11б).

Другие две свободные составляющие переходного тока при значениях фазной емкости КБ (1) мало зависят от уровня компенсации РМ и примерно соответствуют таковым, как если бы компенсация отсутствовала (рис.11б). При больших углах φ_V интенсивности затухания всех четырех составляющих переходного тока соизмеримы.

Время затухания высокочастотных свободных составляющих переходного тока (напряжения) можно определить, используя рис.11б, по формуле

$$t_3 \approx (4...5) / \alpha_{cв}.$$

Так, при $\varphi_V = 0,4$ $t_3 \approx 0,6T$, а при $\varphi_V = 1,2$ $t_3 \approx 3,2T$, где $T = 2\pi$ (о.е.) – период напряжения питающей сети.

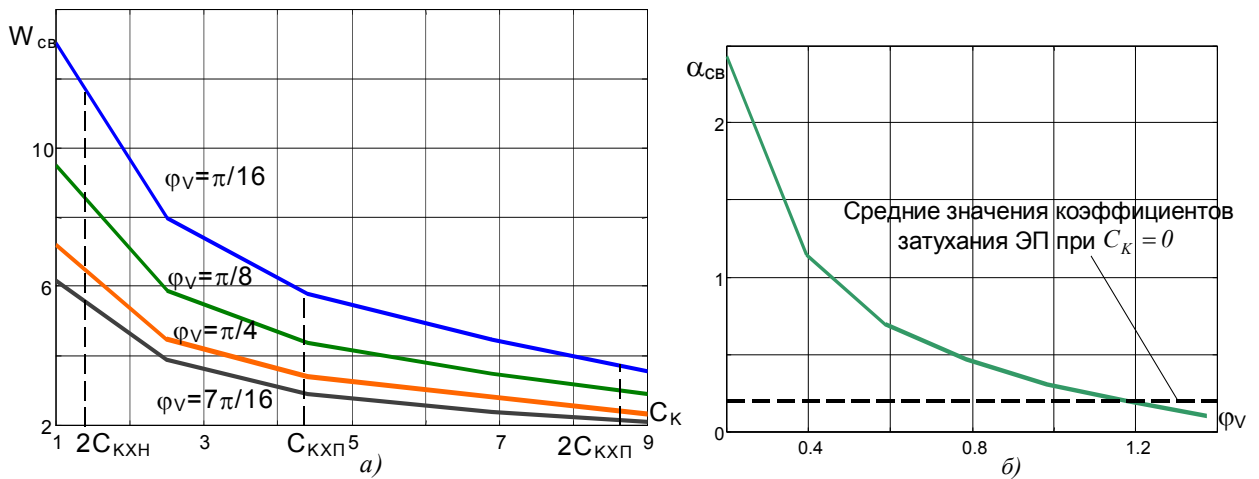


Рисунок 11 – Частоты (а) и интенсивность затухания (б) высокочастотных составляющих при $Z_V = 0.03$

Влияние ступенчатого изменения мощности компенсирующей КБ.

При проведенной линеаризации системы (2) задача расчета переходного процесса, вызванного ступенчатым изменением параметра C_K , сводится к расчету переходного процесса в электрической цепи в послекоммутационный период при ненулевых начальных условиях. Характеристическое уравнение будет иметь вид (3), однако параметр C_K должен быть равен суммарному значению эквивалентной фазной емкости КБ в послекоммутационный период.

Принимая во внимание изложенное, при ступенчатом изменении мощности компенсирующей КБ возникнет переходный процесс, при котором высокочастотные составляющие, в зависимости от величины и соотношения параметров сети, затухнут в течение нескольких периодов напряжения питающей сети. Такой подход справедлив, если ключи, обеспечивающие введение-выведение секций КБ, идеальны, а "скользящий" режим повторного переключения исключен.

Пример математического моделирования. Рассматривается АД типа ВАО2-280L-8 с заданными параметрами, который питается от вторичной обмотки РТ, соединенной с зажимами двигателя посредством распределительной сети полным сопротивлением $Z_V = 0,03$ и соотношением ее параметров, определяемым углом $\varphi_V = 1,2$. Требуется исключить влияние питающей сети на работу АД в режиме пуска, сохранить перегрузочную способность АД по критическому моменту, а также максимальное значение коэффициента мощности ЭП в режиме номинальной нагрузки включением параллельно АД трехсекционной КБ. Момент нагрузки АД считать постоянным и равным номинальному моменту АД.

Для заданного объекта определяем мощности компенсирующих ступеней: режим пуска (см. рисунок 6) – $C_{K1} = 5$, $Q_{K1} = 700$ квар; зона критического скольжения (см. рисунок 10) – $C_{K2} = 3,5$, $Q_{K2} = 500$ квар; номинальный режим (см. рисунок 8) – $C_{K3} = 0,6$, $Q_{K3} = 85$ квар. Алгоритм управления: при пуске введены все три секции суммарной мощностью 700 квар, при снижении тока АД ниже 3,5 о.е. выводится секция мощностью 200 квар, при

снижении тока до уровня 1,5 о.е. выводится секция мощностью 415 квар и в работе остается только постоянно включенная секция мощностью 85 квар.

Результаты моделирования (рисунок 12) подтверждают все приведенные выше заключения.

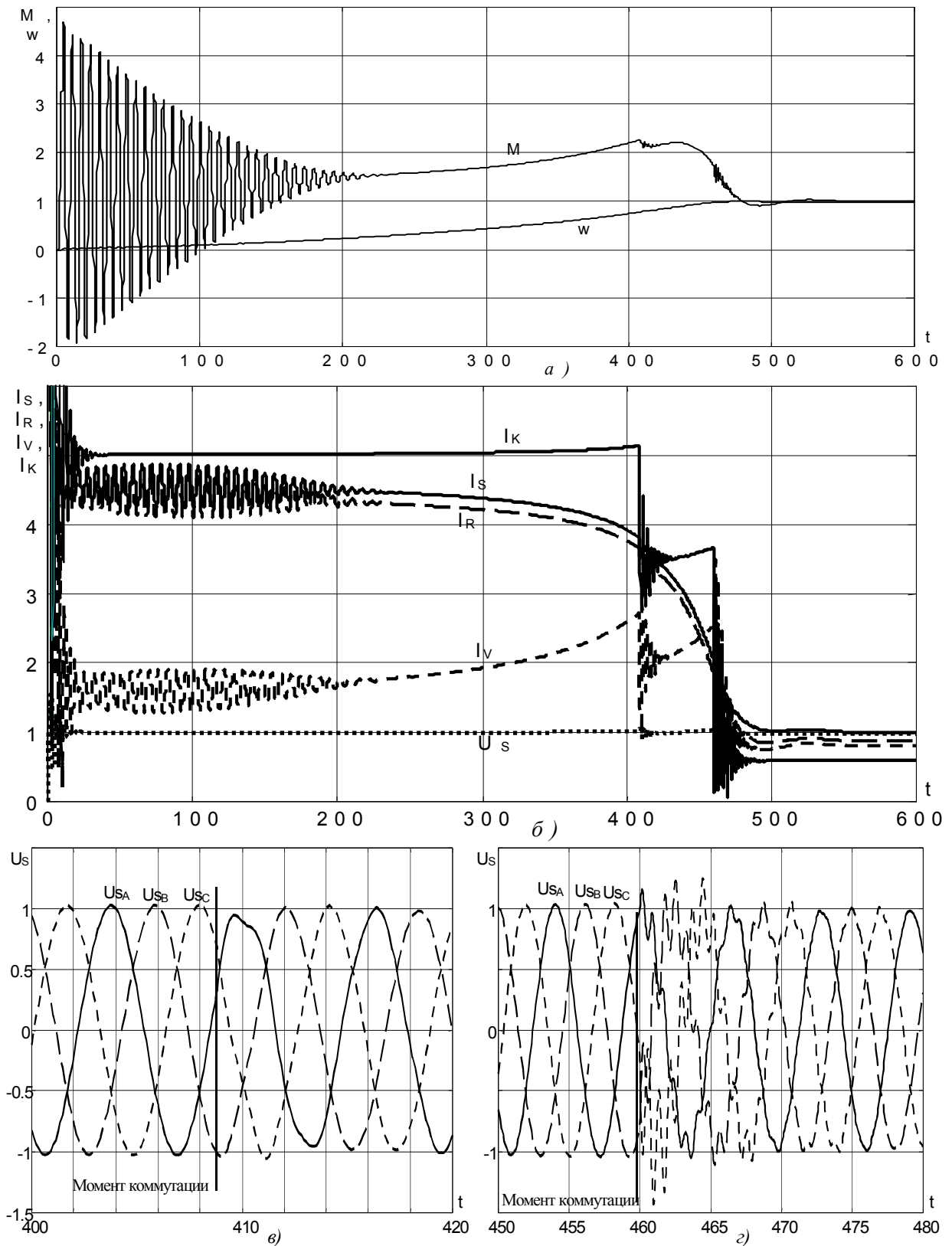


Рисунок 12 – Результаты моделирования

Выводы.

1. Возможность эффективного исключения негативного влияния питающей сети на работу ЭП ограничена, с одной стороны, величиной сопротивления питающей сети, с другой, долей активного сопротивления в полном сопротивлении сети. В остальных случаях можно говорить лишь о минимизации влияния питающей сети.

2. Характерное значение фазной емкости параллельно включенной КБ, при котором коэффициент мощности ЭП равен единице, практически не зависит ни от значений, ни от соотношения активной и индуктивной составляющих сопротивления питающей сети.

3. Применение поперечной компенсации с целью повышения напряжения на зажимах АД тем более эффективно, чем больше преобладание индуктивной составляющей в полном сопротивлении сети.

4. Теоретически исключить влияние питающей сети возможно лишь при использовании перекомпенсации РМ.

5. Диапазон приемлемых (технически эффективных) для конкретного режима работы значений емкости со стороны большей мощности КБ (при перекомпенсации) ограничен тем значением, при котором ток сети не превышает его значения при отсутствии компенсации.

6. Значение фазной емкости КБ, необходимой для минимизации влияния питающей сети на работу АД с заданной степенью, обычно не превышает характерного. Исключения составляют случаи, когда достичь требуемого отклонения напряжения невозможно (сопротивление сети достаточно велико и определяется в основном активной составляющей).

7. В зависимости от параметров сети и требований к ЭП компенсирующая КБ может иметь 2...4 секции, одна из которых постоянно введена в работу, а остальные включаются при увеличении потребления РМ.

8. При преобладании в сопротивлении сети индуктивной составляющей сохранение перегрузочной способности АД по критическому моменту возможно при любом сопротивлении сети, влияние которой минимизируется. В других случаях для этого могут потребоваться значительные компенсирующие мощности, а иногда (при большой доле активной составляющей сопротивления) сохранение перегрузочной способности не возможно.

9. Ток сети в переходном режиме (равно как и напряжение на зажимах АД) будет иметь четыре составляющих. Две из них являются высокочастотными, затухают с интенсивностью, мало зависящей от уровня компенсации и уменьшающейся при увеличении доли индуктивной составляющей в полном сопротивлении сети, и изменяются с частотой, уменьшающейся при увеличении уровня компенсации. Другие две свободные составляющие переходного тока мало зависят от уровня компенсации РМ и примерно соответствуют таковым, как если бы компенсация отсутствовала.

10. При ступенчатом изменении мощности компенсирующей КБ возникает переходный процесс, время протекания которого определяется в основном величиной и соотношением параметров питающей сети.

Список литературы

1. Ширнин И.Г., Захарченко П.И., Карась С.В., Коцегуб П.Х., Чекавский Г.С. Повышение устойчивости работы главного электропривода лесопильной рамы путем параллельного подключения конденсаторных батарей // Взрывозащищенное электрооборудование: Сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецк, 2001. – С. 141 – 154.
2. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с.
3. Дмитренко Ю.И., Ковалев Е.Б., Непочатов В.В. Программа RP4A для обработки результатов испытаний асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором // Взрывозащищенное электрооборудование: Сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецк, 1999. – С. 43 – 57.
4. ГОСТ 28173 – 89. Машины электрические вращающиеся. Номинальные данные и рабочие характеристики. Введ. С 01.01.91. – М., Издательство стандартов, 1989. – 73 с.
5. Коцегуб П.Х., Толочко О.И., Чекавский Г.С. Статические характеристики асинхронного электропривода при компенсации реактивной мощности // Праці Луганського відділення міжнародної академії інформації (Науковий журнал). – № 3 (4). – Луганськ, СНУ, 2001. – С. 40 – 49.
6. Ковалев Е.Б., Толочко О.И., Чекавский Г.С. Математическое моделирование асинхронного двигателя при компенсации реактивной мощности с помощью статических конденсаторов // Проблемы создания новых машин и технологий. Научные труды КГПУ. Вып. 2/2000 (9). – Кременчуг: КГПУ, 2000. – С. 287 – 294.