

УДК 681.527.2

Е.М. Потапенко, д-р техн. наук

Е.В. Душинова,

## РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УПРОЩЕННЫХ МОДЕЛЕЙ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С РОБАСТНЫМ ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

**Аннотация.** Разработан новый наблюдатель неопределенности первого порядка для регуляторов тока асинхронного электропривода, отличающийся от известного наблюдателя второго порядка простотой и точностью. Показана возможность вычисления напряжения в упрощенных моделях такого электропривода.

Е.М.Потапенко, доктор техн. наук

Є.В.Душінова

## РОЗШИРЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ СПРОЩЕНИХ МОДЕЛЕЙ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ З РОБАСТНИХ ВЕКТОРНИМ КЕРУВАННЯМ

**Анотація.** Розроблено новий спостережник невизначеності першого порядку для регуляторів струму асинхронного електропривода, що відрізняються від відомого спостережника другого порядку простотою та точністю. Показано можливість розрахунку напруги в спрощених моделях такого електропривода.

Е.М.Potapenko, ScD

Е.V. Dushinova

## EMPOWERING SIMPLIFIED MODELS OF ASYNCHRONOUS THE DRIVE WITH A ROBUST VECTOR CONTROL

**Abstract.** A new uncertainty observer of the first order for current regulators of induction electric drive (IED), which is more simple and accurate with respect to well-known second-order observer, was developed. The possibility of calculating the voltages in the simplified models of IED was shown.

В работе [1] предложены упрощенные модели асинхронного электропривода (АЭП) с векторным управлением (ВУ), с высокой точностью воспроизводящие механические и электромагнитные процессы, протекающие в полной нелинейной модели АЭП с ВУ. Упрощение достигнуто за счёт применения робастного комбинированного управления токовыми контурами. Их недостатком является отсутствие информации о напряжениях статора. Наличие информации о напряжении позволило бы с помощью упрощенных моделей проводить оптимизацию потребляемой мощности и исследовать работу привода во второй зоне регулирования скорости. При получении этих моделей рассматривались регуляторы тока с наблюдателями второго порядка, оценивающими статорные токи и неопределенности. В том случае, когда на выходе датчиков тока стоят фильтры, выделяющие главные гармоники токов, имеется возможность упростить регуляторы тока за счет исключения из них фильтров второго порядка и включения вместо них фильтров первого порядка, оценивающих только неопределенность. Это позволило бы уменьшить объём вычислений и улучшить динамику токовых контуров. Переход от фильтров второго порядка к фильтрам первого порядка не меняет упрощенную модель.

Синтезируем регуляторы тока с наблюдателями неопределенностей первого порядка. Рассматривается система уравнений, записанная в векторной форме в синхронной системе координат  $(d, q)$  [2]:

$$p i_{dq} = -(T'_{s0})^{-1} i_{dq} + k_0 u_{dq} + f, \quad (1)$$

$$k_0 = k_1 (\sigma L_{s0})^{-1}, T'_{s0} = \sigma L_{s0} (R_{s0})^{-1}, \quad (2)$$

$$f = -k_0 (e + \omega_0 \sigma L_s J i_{dq} + R_{sd} i_{dq} + p i_{dq} L_{sd}), \quad (3)$$

$$e = p \psi_d, \quad T_r p \psi_d = -\psi_d + L_m i_d \quad (4), \quad (5)$$

где  $f$  – вектор неопределенности, куда включены слагаемые с индексом  $\delta$ , обусловленные отклонением параметров от их номинальных значений, и нежелательные перекрестные связи;  $T'_{s0}$  – постоянная времени статорной цепи;  $i_{dq} = [i_d, i_q]^T$ ,  $i_d, i_q$  – намагничивающий и моментный токи соответственно,  $\psi$  – вектор потокосцепления ротора,  $J$  – кососимметрическая матрица,  $R_{s0}$  – номинальное значение сопротивления статора,  $\omega_0$  – синхронная скорость ротора,  $u_{dq} = [u_d, u_q]^T$ .

В соответствии с уравнением (1) неопределенность  $f$  можно оценить выражением

$$y = f = k_0^{-1} p i + (k_0 T'_{s0})^{-1} i - u_p. \quad (6)$$

Для устранения необходимости дифференцировать ток построим наблюдатель для оценки  $f$ . При этом быстродействие наблюдателя сделаем настолько большим, чтобы можно было полагать  $\dot{f} = 0$ . По этому динамическому уравнению и измерению (6) в соответствии с [2] запишем уравнение наблюдателя неопределенности с её оценкой  $\hat{f}$

$$p \hat{f} = l (\hat{f} - f). \quad (7)$$

Подставим в (7) выражение  $f$  из (6):

$$p\hat{f} = l[\hat{f} - k^{-1}pi - (k_0T'_{s0})^{-1}i + u_p]. \quad (8)$$

Правая часть выражения (8) содержит дифференцирование. Для его устранения введем обозначение

$$z = \hat{f} + lk_0^{-1}i \Rightarrow \hat{f} = z - lk_0^{-1}i. \quad (9)$$

Подстановка (9) в (8) дает

$$\dot{z} = l \left[ z - ik_0^{-1} \left( (T'_{s0})^{-1} + l \right) + u_p \right]. \quad (10)$$

Регулятор контура тока представим

$$u_p = q(i_p - i) - \hat{f}, \quad (11)$$

где  $q$  – постоянный коэффициент. Предложенный компенсатор отличается от компенсатора работы [1] отсутствием в наблюдателе оценки тока, что уменьшает объем вычислений в самом быстропротекающем процессе и обеспечивает меньшие колебания скорости при бросках напряжения сети.

На рис.1 показана упрощенная структурная схема (модель) ВУ АЭП, полученная в работе [1], но справедливая и для рассматриваемого случая.

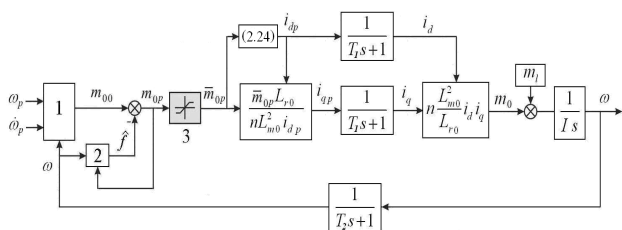


Рис.1. Упрощенная структурная схема ВУ АЭП

Как видно на рис.1, в структурной схеме отсутствуют напряжения. Для оценки напряжений воспользуемся выражением (11), в которое входит оценка неопределенности. Благодаря применению робастного комбинированного управления эта оценка практически не отличается от истинного вектора неопределенности (3), который с учетом выражений (4), (5),  $\omega_0 \approx n\omega$  ( $n$  – количество пар полюсов) зависит только от токов, фигурирующих в упрощенной модели.

На рис. 2–4 сопоставлены процессы, полученные путем моделирования полной нелинейной и упрощенной моделей (рис.1). Переменные с индексами  $n$  и  $s$  относятся к нелинейной и упрощенной моделям соответственно. Моделирование проводилось при такой циклограмме работы двигателя: разгон, двигательная нагрузка, реверс, генераторная нагрузка, стабилизация нулевой скорости. Рисунки 2–4 свидетельствуют о хорошем совпадении соответствующих скоростей и напряжений нелинейной и упрощенной моделей.

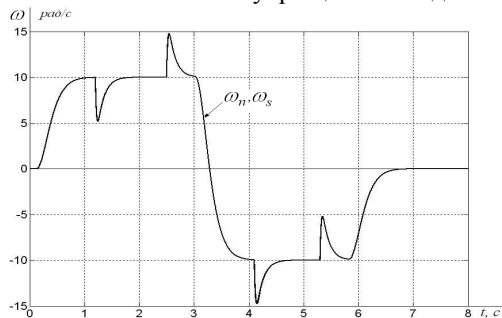


Рис.2. Скорость ротора

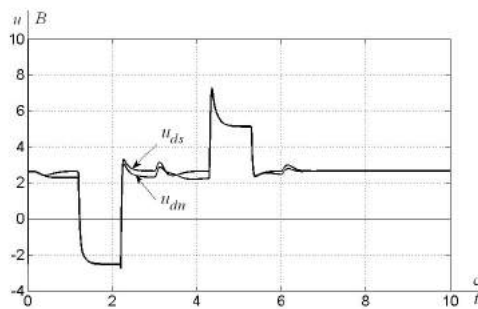


Рис.3. Напряжение канала намагничивания

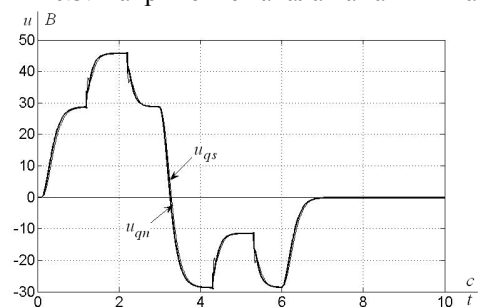


Рис.4. Напряжение моментного канала

**Выводы.** 1. Разработан новый редуцированный наблюдатель неопределенности первого порядка для регуляторов тока. В отличие от прототипа с наблюдателем второго порядка, предложенный метод улучшает вид переходных процессов, уменьшает время и объем вычислений по сравнению с известным наблюдателем второго порядка и обеспечивает меньшие колебания скорости при бросках напряжения сети.

2. Доказана возможность вычисления напряжения в упрощенных схемах ВУ АД.

Список использованной литературы

1. Линейная динамическая модель АД с ВУ / Е.М. Потапенко, Е.В. Душинова, А.Е. Казурова, С.Г. Деев // *Электротехника и электроэнергетика*. – 2010. – № 2. – С. 25-36.

2. Потапенко Е.М. Робастные алгоритмы векторного управления асинхронным приводом / Е.М. Потапенко, Е.Е. Потапенко. – Запорожье: ЗНТУ. – 2009. – 352 с.

Получено 09.07.2011



Душинова  
 Евгения Викторовна,  
 аспирант каф. ЭПА, ЗНТУ  
 69063, ул. Жуковского,  
 д. 64, г. Запорожье.  
 dushinova\_zntu@mail.ru  
 моб. 066-190-25-60



Потапенко Евгений Михайлович,  
 д-р техн. наук, проф. каф.  
 ЭПА, ЗНТУ  
 69063, ул. Жуковского, д.  
 64, г. Запорожье.  
 моб. 8-097-405-93-89