

УДК 62-83:62-526

Ю. В. Постников, Д. Н. Туркин

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Сравнительный анализ динамических свойств редукторного высокоточного электропривода наведения с безредукторным аналогом

Сравниваются динамические характеристики высокоточного редукторного привода одной оси наведения корабельной антенны с его безредукторным аналогом.

Следящий редукторный электропривод, упругий электромеханический объект, трение

В практике проектирования корабельных антенных установок возникают задачи создания высокоточных электроприводов наведения в ограниченных габаритах с высокими динамическими характеристиками.

Настоящая статья посвящена сравнению характеристик высокоточного редукторного привода одной оси наведения с его аналогом в безредукторном исполнении. Рассматривается задача построения следящего электропривода с нагрузкой на исполнительную ось наведения в 50 Н·м и моментом инерции $J = 1.96 \text{ кГм}^2$, который способен обрабатывать эквивалентное синусоидальное входное воздействие с параметрами: период $T = 6.5 \text{ с}$, амплитуда 45° с максимальной ошибкой не хуже 15 угловых минут. Считается, что сухое трение составляет порядка 5 % от максимального момента на исполнительной оси т. е. 2.5 Н·м, а статическая точность определяется 18-разрядным датчиком углового положения с коэффициентом передачи $k_{д.у}^* = 41\,742$ дискретных единиц на радиан (д. е./рад) для безредукторного электропривода и $k_{д.у} = 417.4$ д. е./рад для редукторного с передаточным числом редуктора $i = 100$.

К основным недостаткам редукторных приводов наведения следует отнести упругость и наличие люфта в кинематической передаче. Достоинством редукторных приводов можно считать возможность более компактного конструктивного исполнения по сравнению с безредукторным аналогом той же мощности.

С целью устранения влияния люфта на динамические свойства редукторного привода используют практически безлюфтовые волновые или планетарные цевочные редукторы. В том случае, когда это сделать не удастся, применяют специ-

альные схемы построения двухдвигательного электропривода, состоящие из общего контура регулирования скорости и индивидуальных контуров тока, через которые реализуют различные способы распора [см. лит.]. Если жесткость кинематической передачи в редукторном электроприводе недостаточна и частота упругих колебаний в электромеханической системе соизмерима с требуемой частотой пропускания проектируемой системы могут возникать дополнительные трудности достижения высоких динамических свойств. В этом случае влияние упругих свойств кинематической передачи стремятся устранить за счет построения скоростной подсистемы регулирования по принципам линейных оптимальных систем, применяя для оценки переменных состояния объекта наблюдающие устройства идентификации.

С учетом весьма жестких динамических требований рассматривается трехконтурная структура построения следящего электропривода с комбинированным каналом управления, причем для редукторного варианта считается, что адекватным математическим описанием объекта может быть двухмассовая упругая электромеханическая система с параметрами: $J_1 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ кГм}^2$; $J_2 = 1.96 \text{ кГм}^2$; $c_{12} = 0.897 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$; $b_{12} = 0.001 \text{ (Н} \cdot \text{м/рад)/с}$. Если абстрагироваться от конкретных типов моментных двигателей и преобразователей для управления ими, эта часть объекта представляется замкнутым контуром регулирования момента с передаточной функцией $W_M(p) = k_M(0.001p + 1)$, где $k_M^* = 0.5 \text{ Н} \cdot \text{м/д. е.}$ для безредукторного привода и $k_M = 0.005 \text{ Н} \cdot \text{м/д. е.}$ для редукторного варианта. С целью устранения влияния упругих свойств кинематической передачи

на динамические свойства следящего электропривода скоростная подсистема в редукторном варианте выполняется по принципам линейных оптимальных систем, а для оценки переменных состояния объекта управления применяется наблюдающее устройство идентификации. Коэффициент передачи датчика скорости для обоих вариантов принимается равным $k_{д.с} = 46$ (д. е./рад)/с.

Для достижения максимально возможного порядка астатизма следящего электропривода по управлению регулятор положения (РП) имеет структуру двухкратного пропорционально-интегрального регулятора, что с учетом канала комбинированного управления с передаточной функцией $\tau_{к.к}p$ обеспечивает системе свойство астатизма четвертого порядка. Подобные системы условно устой-

чивы, поэтому в режиме обработки больших угловых рассогласований интегральные части в структуре РП шунтируются.

С учетом сказанного общая структурная схема сравниваемых вариантов построения следящих систем представлена на рис. 1, а структурные схемы соответствующих скоростных подсистем приведены на рис. 2 для редукторного электропривода и на рис. 3 для безредукторного варианта.

Предполагается, что построение внутренней скоростной подсистемы по принципам линейных оптимальных систем и собственная частота упругих колебаний двухмассового упругого объекта позволяет обеспечить редукторному варианту линеаризованного следящего электропривода динамические свойства, аналогичные безредуктор-

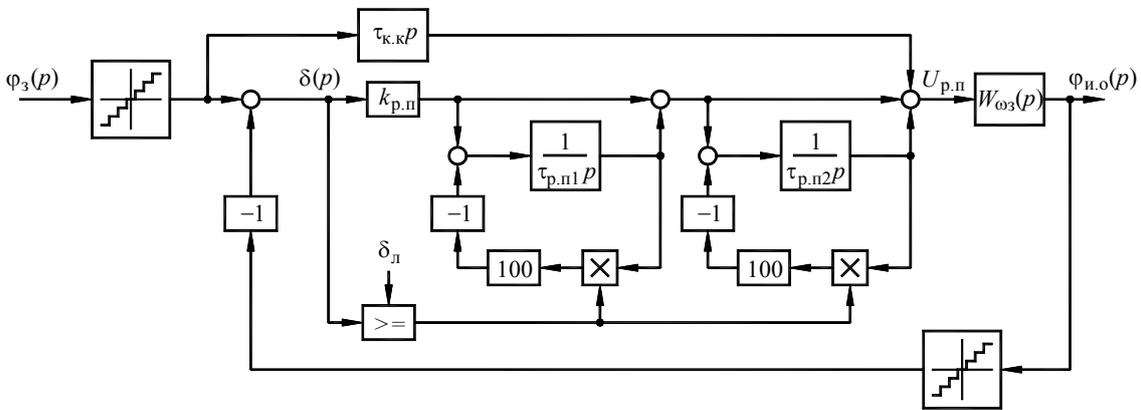


Рис. 1

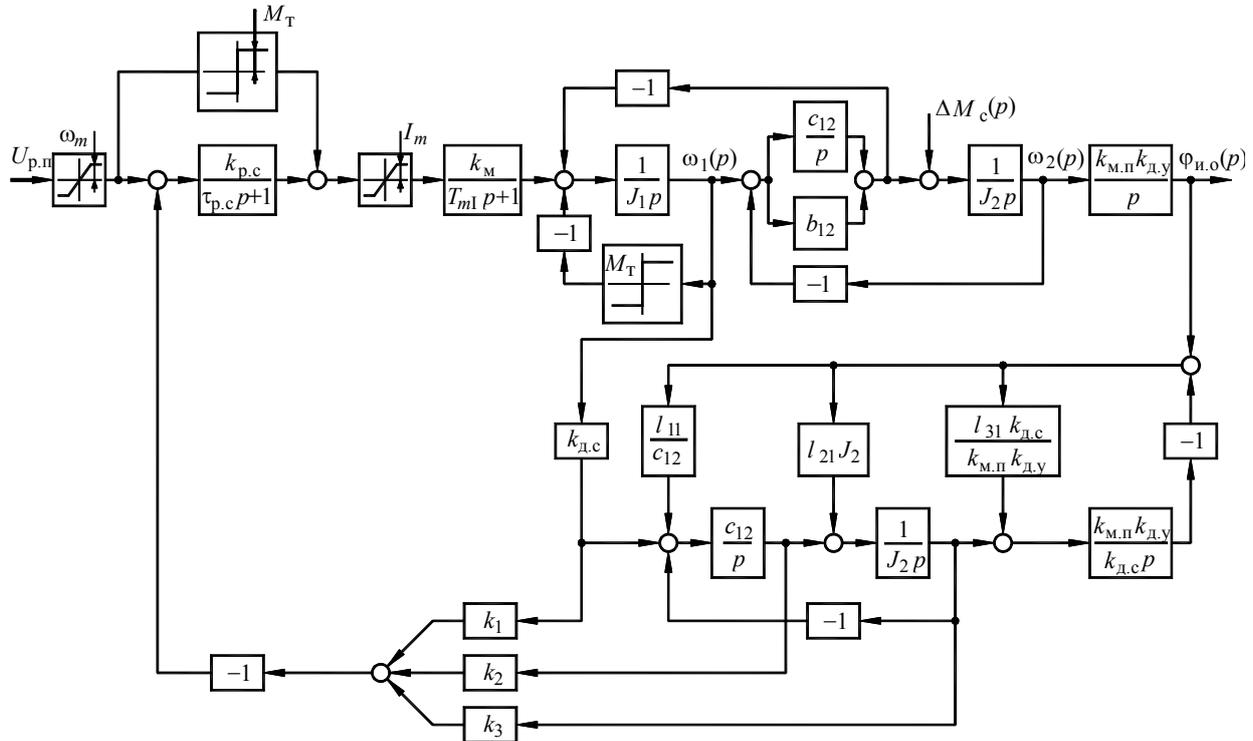


Рис. 2

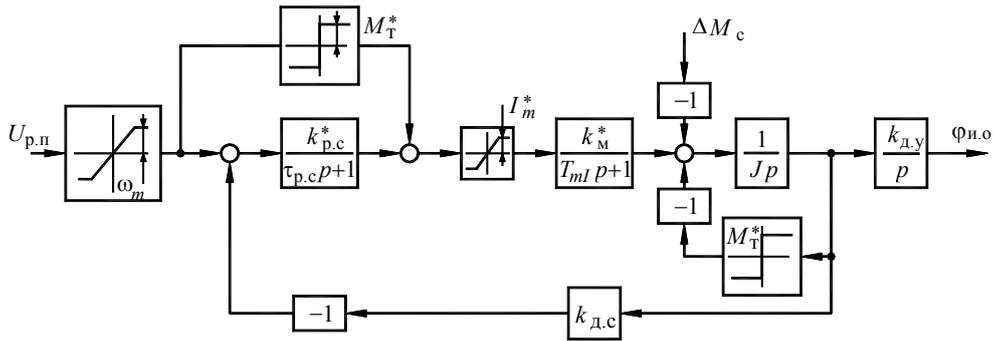


Рис. 3

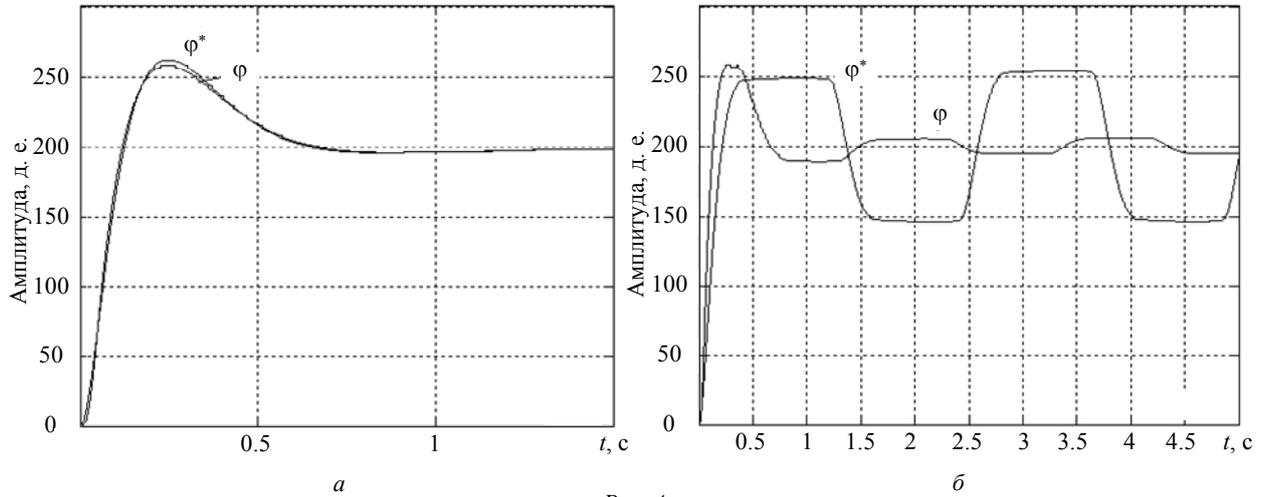


Рис. 4

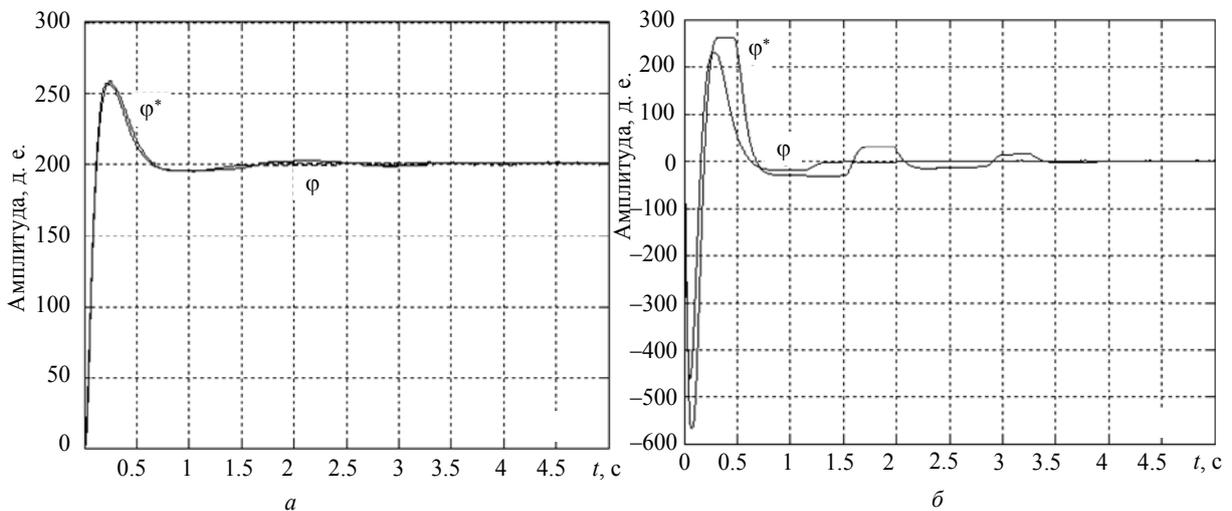


Рис. 5

ному варианту. При этом параметры регуляторов положения, комбинированных каналов и регуляторов скорости для сравниваемых электроприводов имеют следующие расчетные значения: $k_{p.п} = 1.15$; $k_{p.п}^* = 0.015$; $\tau_1 = \tau_2 = \tau_1^* = \tau_2^* = 0.4$ с; $\tau_{к.к} = 0.095$ с, $\tau_{к.к}^* = 0.00108$ с; $\tau_{p.c} = \tau_{p.c}^* = 1$ с; $k_{p.c} = 0.43$; $k_{p.c}^* = 3.5$, а наблюдающее устройство и

линейный оптимальный регулятор в редукторном варианте электропривода: $k_1 = 0.868$; $k_2 = 59.25$; $k_3 = 0.58 \cdot 10^{-3}$; $l_{11} = 3.4 \cdot 10^{-3}$; $l_{21} = 51.8$; $l_{31} = 120$.

Динамические свойства сравниваемых следящих электроприводов анализировались путем математического моделирования в различных режимах:

1. При обработке малых входных воздействий 200 д. е. в линеаризованных системах (рис. 4, а) и с учетом трения (рис. 4, б).

Учет нелинейности типа «сухое трение» приводит к возникновению режима автоколебаний вокруг заданного углового положения, амплитуда которых в безредукторном электроприводе (± 44 д. е.) значительно больше, чем в редукторном (± 5 д. е.);

2. При отработке управляющих 200 д. е. (рис. 5, а) и возмущающих 25 Н·м (рис. 5, б) входных воздействий при введении компенсации трения.

Применение коррекции в виде нелинейного звена типа «сухое трение», входом которого является сигнал с выхода регулятора положения, а выход суммируется с сигналом задания токовому контуру, позволяет устранить возникновение режима автоколебаний в заданном угловом положении. Однако этого эффекта в редукторном электроприводе удается добиться при 90 % компенсации величины сухого трения, а в безредукторном варианте только при 98 %.

Выполненное сравнение редукторного и безредукторного электроприводов, обладающих в линеаризованном виде одинаковыми динамическими свойствами, позволяет сделать следующие выводы:

1. Достижение предельных динамических свойств в редукторных следящих электроприводах как правило достигается применением более

сложных структур построения по сравнению с безредукторными.

2. Реализация современных редукторных следящих сервоприводов требует установки двух датчиков углового положения: одного – на валу электродвигателя, другого – на выходном валу редуктора. Безредукторный электропривод имеет один датчик углового положения, однако его разрядность, если требуется качественное движение на низких скоростях, значительно превышает разрядность датчиков редукторного привода.

3. Негативное влияние трения на динамические характеристики наиболее заметно проявляется в безредукторном электроприводе.

Таким образом, выбор конкретного варианта редукторного/безредукторного электропривода требует анализа всех технических, технологических и конструктивных требований, предъявляемых к электроприводе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Башарин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г. Управление электроприводами: учеб. пособие для вузов. Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. 392 с.

Yu. V. Postnikov, D. N. Turkin
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DYNAMIC PROPERTIES OF GEARED MOTOR HIGH-PRECISION GUIDANCE WITH DIRECT DRIVE ANALOG

Compares the dynamic characteristics of high-precision gear drive, single-axis pointing vehicular antenna with its direct drive analog.

Servo gear electric drive, electromechanical elastic object, friction