

УДК 621.314.718,26

ВЕНТИЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ И УЛУЧШЕННОЙ ФОРМОЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Т.О.РОССО

Приводы переменного тока, благодаря своим известным преимуществам, во многих промышленных механизмах с успехом заменяют приводы постоянного тока. Особенно эффективным является использование вентильного двигателя, который по своим регулировочным свойствам является практически полным аналогом машины постоянного тока и, кроме того, обладает несомненным преимуществом — отсутствием коллекторного узла.

Вентильный двигатель с тиристорным непосредственным преобразователем частоты (ТНПЧ) может быть успешно использован в различных промышленных механизмах, например, как привод якорных лебедок полупогружных платформ буровых установок типа «Шельф».

Якорные лебедки в процессе бурения должны осуществлять точное позиционирование полупогружной платформы над устьем скважины, обеспечивая при этом широкий диапазон регулирования скорости в режимах «выбирания» и «травления» якорной цепи, что соответствует двигательному и генераторному режимам привода, стоянку под током, в два раза превышающим номинальный, плавный разгон, а также высокую надежность привода в целом. Учитывая сложные эксплуатационные условия, а также специфику работы привода лебедок при питании от источника ограниченной мощности, использование привода переменного тока позволит не только исключить ненадежный в эксплуатации коллектор, но и с помощью специальной системы фазоимпульсного управления

непосредственным преобразователем частоты добиться уменьшения вибраций и шума электрооборудования.

В схеме управления вентильным двигателем (рис.1) в качестве опорного использован обобщенный вектор главного потока сцепления машины, что избавляет от необходимости установки датчика положения, т.е. дополнительной электрической машины, обязательной при управлении в системе координат $\alpha-\varphi$ — жестко связанной с магнитной осью ротора.

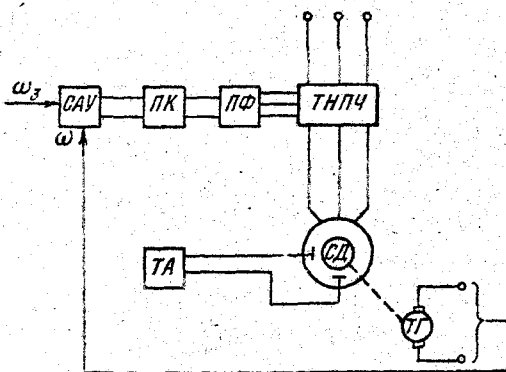


Рис.1. Функциональная схема вентильного двигателя с ТНПЧ

САУ — система автоматического управления; ПК — преобразователь координат; ПФ — преобразователь фаз; ТА — тригонометрический анализатор; СД — синхронный двигатель; ТГ — тахогенератор

Для получения направляющих косинусов в использованной системе координат относительно неподвижной в пространстве системы $\alpha - \beta$ в расточке статора установлены два комплекта датчиков Холла, сдвинутых друг относительно друга на $\pi/2$ электрических радиан.

Элементы системы векторного управления (ПК и ПФ на рис. I) позволяют перейти от вращающейся вместе с вектором главного потокоцепления машины к неподвижной системе координат - α и β , в которой формируются сигналы управления составляющими вектора напряжения статора $U_{s\alpha}$ и $U_{s\beta}$ ^{*}, а затем произвести преобразование из двух фаз в три, для получения сигналов управления ТНПЧ.

Преобразователь координат и преобразователь фаз реализуют следующие соотношения:

$$U_{s\alpha} = U_{s1} \cos \varphi_{\Phi_0} - U_{s2} \sin \varphi_{\Phi_0};$$

$$U_{s\beta} = U_{s1} \sin \varphi_{\Phi_0} + U_{s2} \cos \varphi_{\Phi_0};$$

$$U_A = U_{s\alpha};$$

$$U_B = -0,5(U_{s\alpha} - \sqrt{3} U_{s\beta});$$

$$U_C = -0,5(U_{s\alpha} + \sqrt{3} U_{s\beta}),$$

где $\sin \varphi_{\Phi_0}$ и $\cos \varphi_{\Phi_0}$ - направляющие функции вектора главного потокоцепления относительно неподвижной системы координат α и β .

Достоинством данной схемы является возможность получения плавного пуска вентильного двигателя. При подаче в ротор синхронной машины тока возбуждения на датчиках Холла появляются два сигнала постоянного тока, величина которых определяется фиксированным положением в пространстве магнитной оси ротора и величиной тока возбуждения. Заданием $U_{s1} = \text{const}$ и $U_{s2} = 0$ обеспечивается протекание тока в статоре через открытие (сигналами датчиков Холла) группы клапанов преобразователя частоты, а увеличением составляющей U_{s2} - возникновение электромагнитного момента и разгон двигателя до значения скорости, определяемого заданием и нагрузкой.

Рассмотрим работу системы импульсно-фазового управления (СИФУ) тиристорного непосредственного преобразователя частоты, выполненного по трехфазной нулевой схеме. Система СИФУ построена в соответствии с требованиями ограничения пульсаций электромагнитного момента вентильного двигателя.

Исходные положения: 1) выходное напряжение ТНПЧ регулируется по частоте и напряжению и имеет квазисинусоидальную форму; 2) управление ти-

^{*} В.В. Алексеев. Блоки системы векторного управления частотно-регулируемым приводом на микромодулях. - Л., изд. ЛДНТП, 1979.

А.К. Аракелян, А.А. Афанасьев, М.Г. Чиликин. Вентильный электропривод с синхронным двигателем и зависимым инвертором. М., Энергия, 1977.

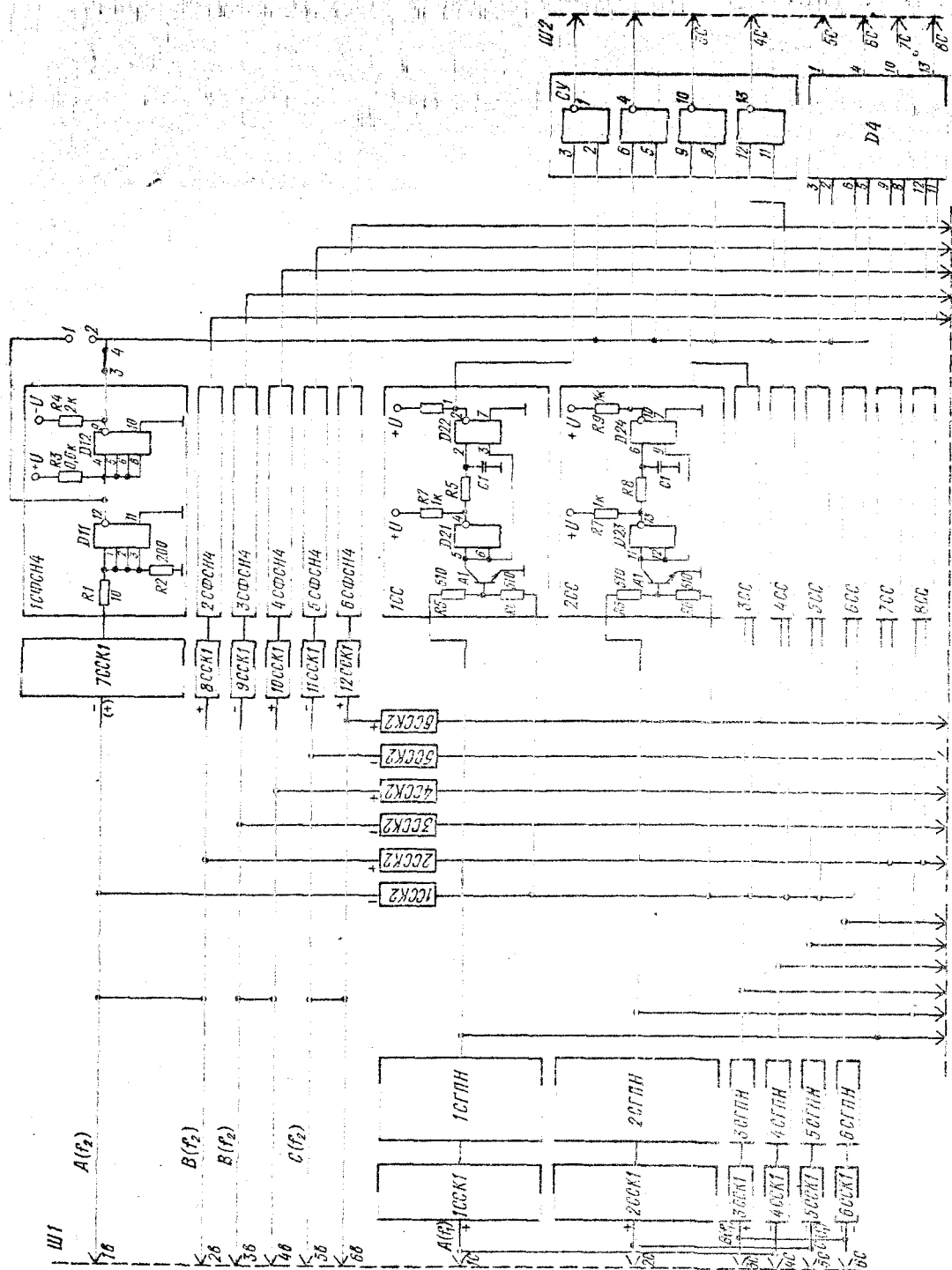


Рис.2. Принципиальная схема Сифу

ристорными группами раздельное, с обеспечением надежного спада реактивного тока; 3) имеется возможность настройки, обеспечивающая высокую степень симметрии выходного напряжения; 4) входные сигналы ТНПЧ, поступающие от датчиков магнитного потокоосцепления, качественно фильтруются с помощью тригонометрического анализатора (ТА на рис.1); 5) в случае питания привода от источника ограниченной мощности (например, на плавучих буровых установках) может быть использован дополнительный тригонометрический анализатор, обеспечивающий независимость качества работы СИФУ от искажений питающей сети.

Принципиальная схема СИФУ представлена на рис.2. Основные элементы схемы: СТФНЧ – схема формирования стробов низкой частоты; СГПН – схема генератора пилообразного напряжения; СС – схема сравнения; СУ – смесительное устройство; ССК – схема согласования каскадов.

Наиболее сложным элементом СИФУ является СГПН. Схема (рис.3) работает следующим образом: на вход логического элемента Д1.1 поступают положительные полуволны сетевого напряжения, из которых на элементе Д1.2 в момент $U_{\text{сети}} = U_{\text{пор}}$ формируется импульс положительной полярности. В момент появления логического нуля на выходе элемента Д1.2 конденсатор $C1$ заряжается и остается в заряженном состоянии до появления логической единицы на выходе Д1.2, после которой конденсатор начинает разряжаться через элемент Д2. Угол наклона «пилы» регулируется сопротивлением $R5$. Микросхема А1 служит усилителем и, одновременно выполняя логическую операцию «или-не», обеспечивает на выходе схемы СГПН во время паузы синхронизирующего импульса напряжение, равное нулю, а в момент импульса – линейно-спадающее напряжение. Смещение усилителя позволяет достаточно точно отрегулировать все «пилы» и добиться симметрии в выходном напряжении.

Выходной сигнал схемы генератора пилообразного напряжения поступает на один из входов схемы сравнения, на второй вход которой подан внешний управляющий сигнал – первая гармоническая составляющая потокоосцепления статора, полученная в результате фильтрации сигналов с датчиков Холла.

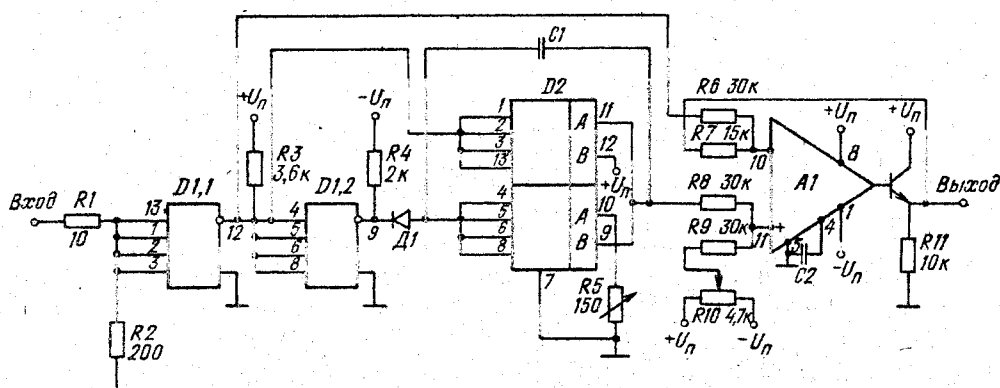


Рис.3. Схема генератора пилообразного напряжения

Частота этого сигнала равна скорости вращения двигателя, амплитуда и фаза определяют величину и фазу выходного напряжения ТНПЧ.

В результате сравнения двух напряжений в момент их равенства на входе схемы сравнения появляются импульсы, имеющие каждый свою фазу относительно сетевого напряжения, чем и достигается получение в выходном напряжении преобразователя синусоидальной огибающей.

Схема формирования стробов низкой частоты построена идентично схеме формирователя синхронизированных с сетью импульсов в СТПН. Таких схем шесть - по числу необходимых полуволн.

Стробы низкой частоты и импульсы со схемы сравнения поступают на вход смесительного устройства, которым является логическая ячейка "или-не" (элементы Д3, Д4 на рис.2), где производится операция логического сложения с отрицанием, эквивалентная логическому умножению двух инвертированных величин:

$$\overline{X_1 + X_2} = X_1 X_2,$$

где X_1 - высокочастотный сигнал; X_2 - низкочастотный сигнал, что и необходимо, так как сигнал на выходе схемы сравнения требует инвертирования (которое выходными каскадами не предусмотрено) для подачи на управляющий электрод тиристора.

В зависимости от необходимого знака выходного напряжения используется схема ССК1 либо ССК2, которые отличаются друг от друга полярностью и типом выходного транзистора. Эти схемы выполняют одновременно несколько функций: 1) усиливают сигналы; 2) в зависимости от используемого входа

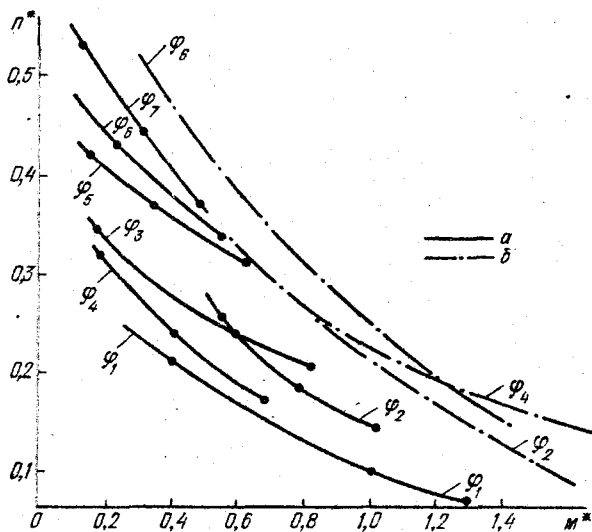


Рис.4. Механические характеристики вентильного двигателя при различных значениях угла α
 $M^* = M/M_n$; $n^* = n/n_n$; $\varphi_1 = 65^\circ$; $\varphi_2 = 57^\circ$;
 $\varphi_3 = 51^\circ$; $\varphi_4 = 45^\circ$; $\varphi_5 = 40^\circ$; $\varphi_6 = 34^\circ$; $\varphi_7 = 25^\circ$

(прямого или инвертирующего) позволяют формировать высокочастотные и низкочастотные сигналы, синхронизированные положительной или отрицательной полуwave; 3) наличие регулируемого смещения позволяет на низкой частоте - регулировать длительность полуwave от 180 эл.град. вниз до любого необходимого значения, обеспечивающего надежное спадание реактивного тока; на высокой частоте - расширить диапазон фазосдвигаения до требуемых 150 эл.град.

Внешняя характеристика ТНПЧ с описанной системой фазоимпульсного управ-

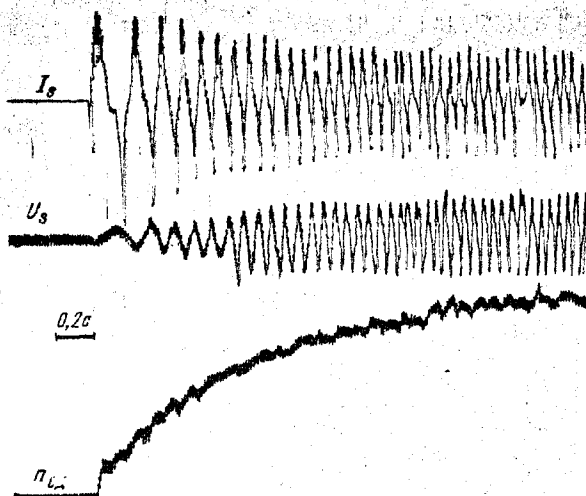


Рис.5. Осциллограмма пуска вентильного двигателя

лении практически линейна, что существенно для системы управления вентильным двигателем.

Экспериментальные исследования были проведены на макетном образце вентильного двигателя мощностью 2,8 кВт. Механические характеристики приведены на рис.4, осциллограмма пуска — на рис.5.

Механические характеристики сняты для $|U_s| = 135$ В (а) и $|U_s| = 160$ В (б) при нескольких фиксированных

положениях вектора напряжения статора относительно вектора главного потока сцепления Φ_0 , определяемых углом $\varphi = \arctg U_{s2} / U_{s1}$. Из рис.4 видно, что угол φ при одном и том же модуле напряжения статора $|U_s|$ существенно влияет на соотношение M^* и n^* и на перегрузочную способность двигателя, т.е. является параметром управления.

Схема вентильного двигателя с ТНПЧ и улучшенной формой выходного напряжения с помощью системы векторного управления позволяет повысить энергетические показатели привода (за счет уменьшения потерь от высших гармонических в кривой напряжения и возможности регулирования $\cos \varphi$), увеличить перегрузочную способность и получить плавное регулирование скорости от нуля без дополнительных усложнений схемы.