

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ БЕЗ ДАТЧИКА ПОЛОЖЕНИЯ АВТОКОММУТИРУЮЩИХ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

1. Введение

В наше время существует большая промышленная практика использования синхронных двигателей без помощи датчика положения. Датчики сокращают надежность систем, особенно, когда двигатель используется в неблагоприятной среде (вибрация, влажность). Кроме того, датчики увеличивают цену двигателя. Для синусоидального питания, необходимо знать позицию с хорошей точностью. Для маленьких двигателей, цена электроники непрямого обнаружения положения должна быть малой. Были придуманы несколько методов без датчика, но как правило, они не позволяют синусоидальное питание или используют сложно управляемую электронику. Высокая степень интеграции логических функций ведёт к обработке всё больше и больше численных сигналов. Предложенный метод не является новым [K.İM 96], но его предшествующие версии использовали относительно дорогие дискретные комплектующие (1NA 117, например). Синусоидальное питание обладает преимуществом производить постоянный вращающийся момент с низкой скоростью и сокращать электромагнитные помехи (по сравнению со снабжением 120 °).

Метод основывается на гибкости DSP семейства Texas Instrument TMS320C24X и на маленьком количестве внешних элементов. Цель этой статьи состоит в том, чтобы показать возможный способ извлечения информации о положении ротора только при помощи некоторых элементов. Этот метод был развит для синхронных двигателей с индуктированным синусоидальным

напряжением. При помощи некоторых изменений, он может быть применён к двигателям, индуктированное напряжение которых не синусоидальное.

Этот метод тестирован на различных двигателях. Эта статья представляет результаты на двух двигателях в следующих характеристиках:

moteur 1 (3 phases/8 pôles,

$R_s = 6 \Omega$, $L_s = 500 \mu\text{H}$, $k_e = 1.45 \text{ V/kt/min}$ (coefficient de tension induite), $\Omega_{\text{nominal}} = 4500 \text{ t/min}$) et **moteur 2 (3 phases/2 pôles,** $R_s = 0.2 \Omega$, $L_s = 40 \mu\text{H}$, $k_e = 1.8 \text{ V/kt/min}$, $\Omega_{\text{nominal}} = 6600 \text{ kt/min}$).

2. Метод

2.1 Моделирование двигателя

В целях анализа выбран трёхфазный синхронный двигатель в звезде с постоянными магнитами и парой полюсов и индуктированным синусоидальным напряжением, как это показано на рисунке 1. В линиях, которые следуют, используется только понятие синхронного двигателя. Этот двигатель может быть описан следующими уравнениями:

$$V_a = R_s i_a + L_s \frac{di_a}{dt} + k_e \Omega_r \sin(\theta_r) + V_N$$

$$V_b = R_s i_b + L_s \frac{di_b}{dt} + k_e \Omega_r \sin(\theta_r - 2\pi/3) + V_N$$

$$V_c = R_s i_c + L_s \frac{di_c}{dt} + k_e \Omega_r \sin(\theta_r - 4\pi/3) + V_N$$

где V_a , V_b , V_c являются линейными напряжениями, R_s сопротивлением фазы, L_s индуктивностью фазы, i_a , i_b , i_c токами фазы, θ_r положением ротора,

k_e коэффициентом индуктированного напряжения, Ω_r пульсацией, V_N нулевым потенциалом.

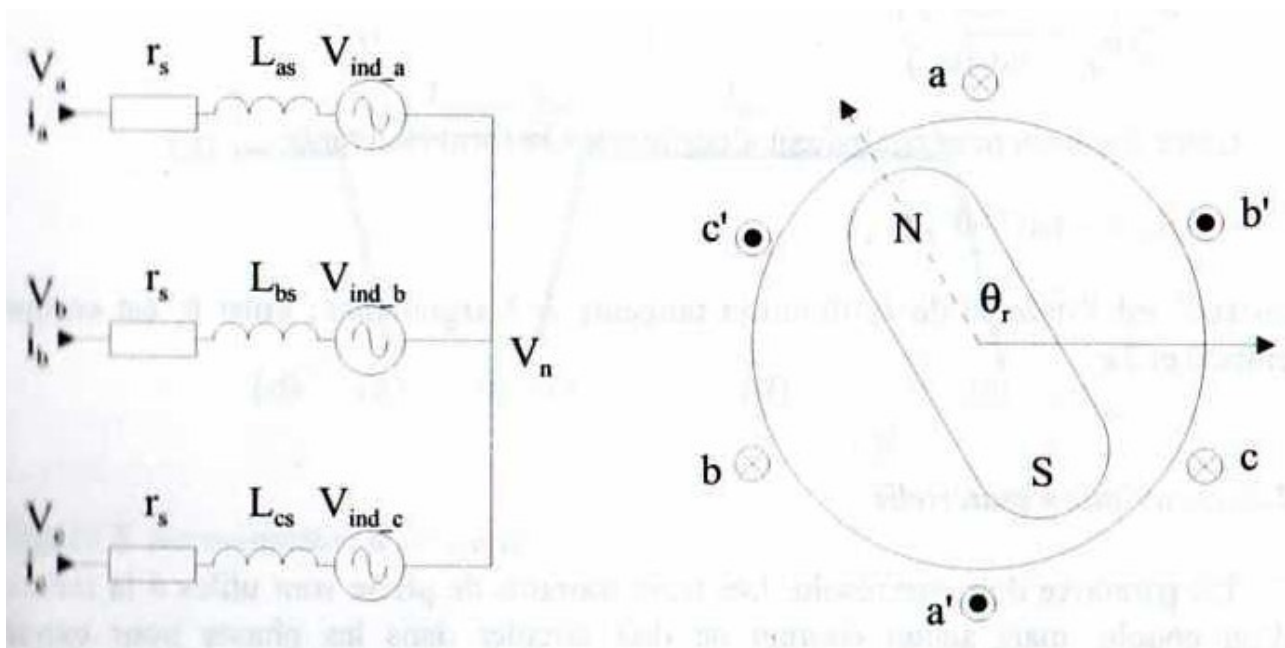


Рисунок 1: Эквивалентный ток автокоммутирующего синхронного двигателя

2.2 Принцип

Информация о положении ротора, включённая в уравнения, извлечена при задержке трёх фазных токов. Уравнения двигателя без тока становятся:

$$\begin{aligned} V_a &= k_e \Omega_r \sin(\theta_r) + V_N \\ V_b &= k_e \Omega_r \sin(\theta_r - 2\pi/3) + V_N \\ V_c &= k_e \Omega_r \sin(\theta_r - 4\pi/3) + V_N \end{aligned}$$

Три напряжения ветки V_a, V_b, V_c могут быть измерены. Тремя неизвестными являются Ω_r, θ_r, V_N . Нулевой потенциал V_N легко вычёркивается учитывая напряжения между фазами V_{ab} et V_{bc} :

$$V_{ab} = k_e \Omega_r \left(\sin(\theta_r) - \sin(\theta_r - 2\pi/3) \right) = k_e \Omega_r \sqrt{3} \cos(\theta_r - \pi/3)$$

$$V_{bc} = k_e \Omega_r \left(\sin(\theta_r - 2\pi/3) - \sin(\theta_r - 4\pi/3) \right) = -k_e \Omega_r \sqrt{3} \cos(\theta_r)$$

Эта система уравнений переписана в настоящее время в систему координат dq :

$$V_d = \frac{1}{3} (2V_{ab} + V_{bc}) = k_e \Omega_r \sin(\theta_r)$$

$$V_q = \frac{\sqrt{3}}{3} V_{bc} = -k_e \Omega_r \cos(\theta_r)$$

Если V_d делится на V_q :

$$\frac{V_d}{V_q} = \frac{-\sin(\theta_r)}{\cos(\theta_r)}$$

Это уравнение может писаться также в следующей форме:

$$\theta_r = -\tan^{-1}(V_d, V_q)$$

2.3 Материальное описание

Парадокс должен быть решенным. Три фазных тока являются полезными для создания пары, но никакой ток не должен циркулировать по фазам чтобы правильно извлекать информацию о положении. Эти две операции разделены во

временном отношении. Момент, когда токи задерживаются и индуцированные напряжения измеренные, должен быть слабым (по отношению к временной механической константе) чтобы избежать колебаний скорости. Материал, необходимый для метода, представлен на рисунке 2.

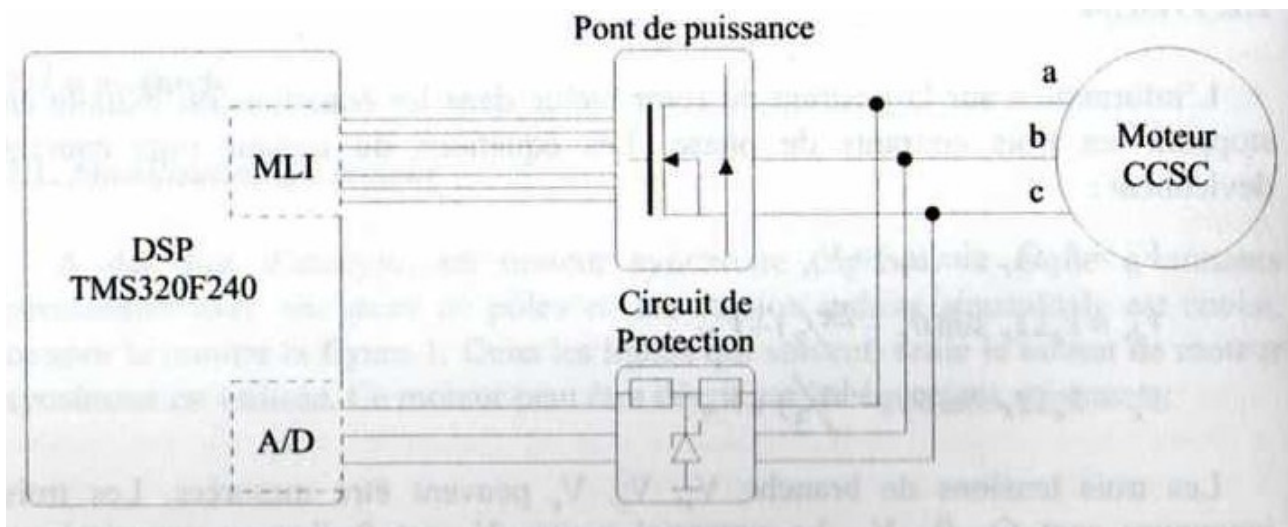


Рисунок 2: Материальный принцип

DSP TMS320F240 Texas Instrument выбран для контроля мощностного моста, измерений напряжения ветви и расчетов положения. DSP использован также для вторичных задач, например управление линией RS232. Мощностной мост является специфическим для двигателя и приложения. Он нормально составлен из драйверов, транзисторов и диодов. Каждый транзистор индивидуально контролируется DSP. Защитная цепь (два сопротивления и диод Zener к фазе) ограничивает входной диапазон преобразователя A/D, если напряжения ветви отрицательные или больше чем 5 В.

2.4 Приведение в действие

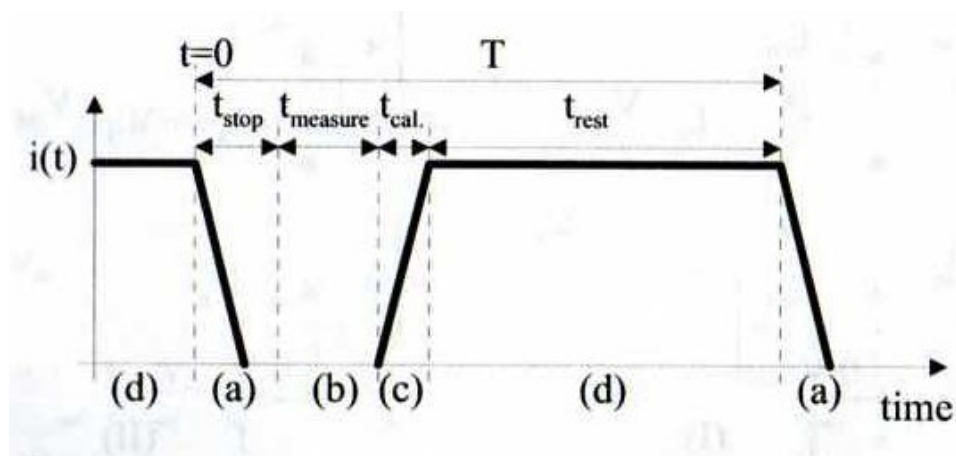


Рисунок 3: Деление цикла

Три фазных тока периодически задерживаются, время также разделено на период продолжительностью T как это показано на рисунке 3. Каждый период разделяется на четыре части:

мощностной мост приведён в полное сопротивление и токи гасятся после времени t ;

напряжения между фазами измерены в течение времени t ;

вычисляется новое положение и мост вновь становится активным;

расчет положения заканчивается и остаток времени уделяется другим целям.

Когда DSP переводит мощностной мост в высокое полное сопротивление, токи быстро замедляются. Как показано на рисунке 4, могут быть рассмотрены два состояния: (I) ток фазы положителен, (II) ток фазы отрицателен. Для остатка роста рассматривается только состояние (I). Если двигатель не функционирует в режиме генератора, наиболее худший случай, который надо рассматривать для гашения тока располагается, когда индуктированное напряжение слабо, то есть с низкими скоростями. До полного гашения тока, этот последний следует за

следующим законом (мост мощности переведён в высокое полное сопротивление во времени $t = 0$):

$$i(t) = -\left(\frac{V_N}{R_s} + i_0\right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{R_s t}{L_s}}\right) + i_0$$

до тех пор, пока ток $i(t_{stop}) = 0$. Также получают:

$$t_{stop} = \frac{L_s}{R_s} \ln\left(1 + \frac{R_s i_0}{V_N}\right) \cong \frac{L_s}{R_s} \frac{R_s i_0}{V_N} \cong \frac{2L_s i_0}{V_{dc}}$$

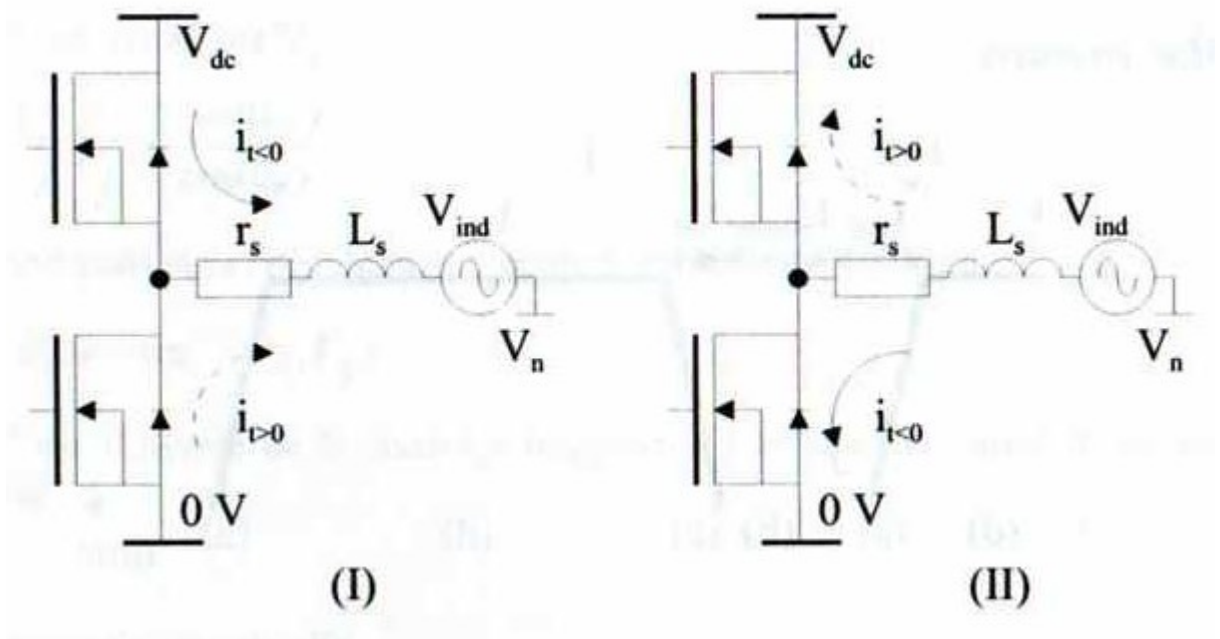


Рисунок 4: Принцип циркуляции токов

Сравнивая формулировку получена для второго состояния (II). Время, необходимое для остановки тока, является пропорциональным $L_s \cdot i_0$ (фазный ток до решения остановки, $t = 0$) и напротив пропорциональным напряжению моста мощности V_{dc} . С Двигателем 1 ($L = 500 \mu\text{H}$, $i_{n \max} = 1.1 \text{ A}$, $V_{dc} = 12 \text{ V}$),

время $t_{\text{stop}} \leq 100 \mu\text{s}$ и с двигателем 2 ($L = 40 \mu\text{H}$, $i_{o_max} = 5 \text{ A}$, $V_{dc} = 24 \text{ V}$),

время $t_{\text{stop}} \leq 17 \mu\text{s}$. Время t_{stop} представляет время ожидания между решением остановки тока и началом измерения напряжений между фазами.

Когда токи нулевые, индуктированные напряжения между фазами измеренные. С этой целью первая фаза (a) соединяется с нулевым потенциалом связывая транзистор и напряжения двух других фаз считывающихся преобразователями A/D. Входной диапазон преобразователей располагается от

0 до 5 В. Оба дифференциальных напряжения V_{ba} и V_{ca} могут быть положительными или отрицательными. Если они оба положительны, преобразователь A/D правильно читает величины, как это показано на рисунке

5. Но, если V_{ba} или V_{ca} отрицательное (рисунок 6, $V_{ca} < 0$), ток циркулирует

через диод свободного колеса - напряжение фазы V_b или V_c является немного отрицательным. В этом случае преобразователь A/D читает ноль и измерение отклонено. Затем измерения повторены для двух других фаз, соединенных с

нулевым потенциалом. Как $V_{ab} + V_{bc} + V_{ca} = 0$, два дифференциальных потенциала дают третий.

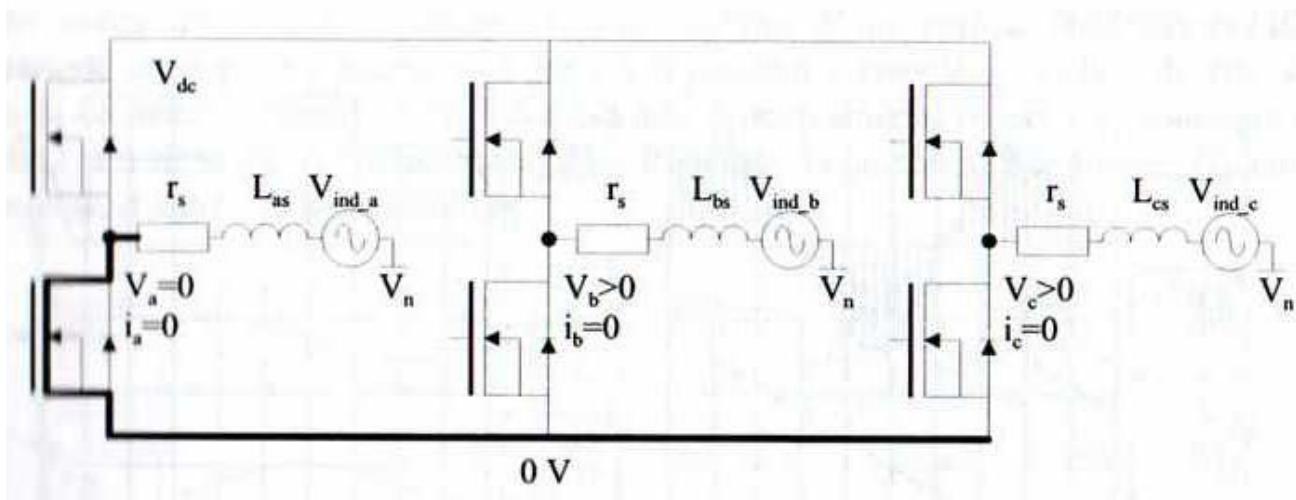


Рисунок 5: Измерение положительного напряжения

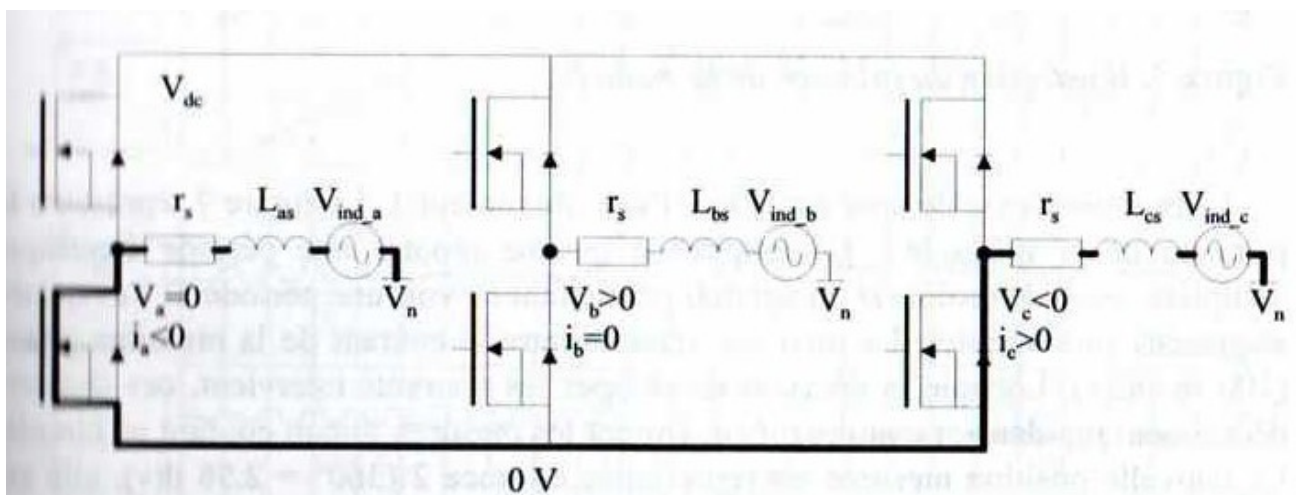


Рисунок 6: Измерение отрицательного напряжения

DSP реактивный в новом мощностном мосте и считает V_d , V_q и в конечном счёте положение θ . В конце этого звена находится новая позиция.

Оставшееся время периода T может быть использовано для регулирования тока и скорости. Оно может равным образом быть использовано для экстраполяции позиции между двумя измерениями.