

М.А. ШЕНДЕЛЁВ, студент гр.5АМ67 (НИ ТПУ)
 Научный руководитель А.Ю. Чернышев, к.т.н., доцент (НИ ТПУ)
 г. Томск

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ПЛАВНОГО ПУСКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Принцип работы устройства плавного пуска асинхронного двигателя заключается в том, что напряжение, подаваемое от сети через тиристорное пусковое устройство (ТПУ) на обмотки статора асинхронного двигателя, ограничивается при помощи силовых ключей – параллельно включенных тириستоров $VS1 - VS6$ (рис.1). В результате напряжение на нагрузке можно изменять по закону, определяемому задатчиком интенсивности.

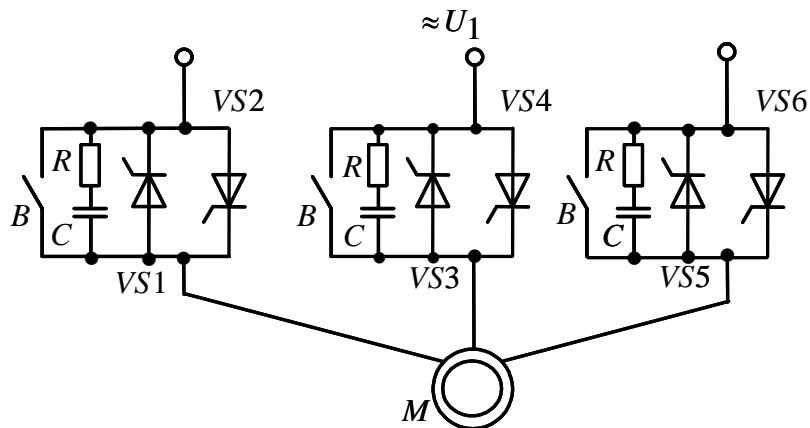


Рис. 1. Схема силовых цепей нереверсивного тиристорного регулятора напряжения

Два антипараллельных тиристора в каждой фазе тиристорного пускового устройства (ТПУ) шунтированы RC цепочками. RC цепочки ставятся для того, что бы исключить самопроизвольное включение тириستоров из-за эффекта dU/dt при подачи силового напряжения на ТПУ скачком. В некоторых схемах ТПУ по окончании переходных процессов пуска электропривода антипараллельные тиристоры шунтируются механическими контактами B .

Задача ТПУ, плавно увеличивая напряжение на обмотках статора асинхронного двигателя M , добиться заданного изменения тока статора двигателя и его момента по заданному закону. Отличаясь простотой схемы, низкими массогабаритными показателями и стоимостью, ТПУ позволяют ограничить ток и момент асинхронного двигателя при пусках, торможениях, а реверсивные ТПУ и при реверсах двигателя. При пусках

асинхронного двигателя прямым включением в сеть на его валу возникают ударные динамические моменты, превосходящие номинальный момент двигателя в 5 – 6 раз, что выводит из строя, как кинематику производственного механизма, так и сам двигатель. Целью настоящей работы является исследование асинхронного электропривода с тиристорным пусковым устройством с целью выявления затрат электрической энергии ТПУ при пуске асинхронного двигателя и установления особенностей его работы.

Все исследования асинхронного электропривода в динамике при пуске прямым включением в сеть и плавном пуске через тиристорное пусковое устройство проведем в программной среде *MatLab-Simulink*. Все мощности и потери мощности за цикл работы будем так же определять в программной среде *MatLab-Simulink* за цикл работы путем их интегрирования и отображения с помощью цифрового индикатора (*Display*). Схема силовой цепи для одной из фаз ТПУ в программной среде *MatLab-Simulink* приведена на рис. 2.

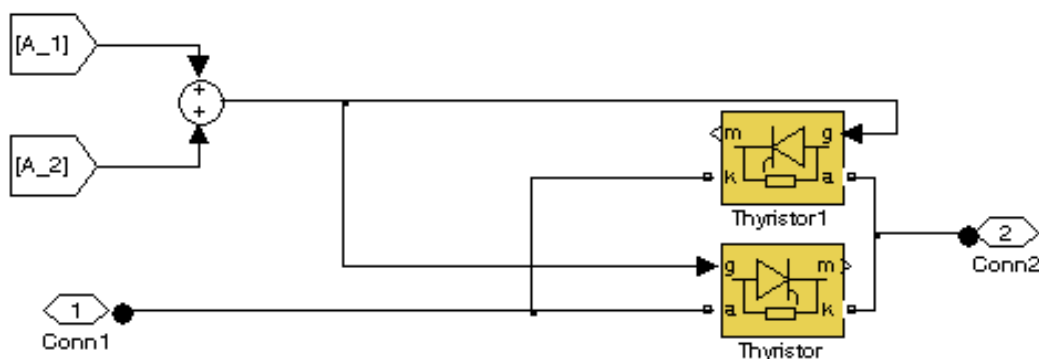


Рис. 2. Схема силовой цепи одной фазы тиристорного пускового устройства в программной среде *MatLab-Simulink*

С целью выявления соответствия процессов, протекающих при исследовании ТПУ на имитационной модели и реальном электроприводе с ТПУ, были сняты графики токов статора. Результаты исследований приведены на рис. 3.

Анализ токов статора имитационной модели и реального электропривода, приведенных на рис. 3, показывает их совпадение. Поэтому будем предполагать, что совпадут и другие физические величины, полученные на имитационной модели и в реальном электроприводе с ТПУ.

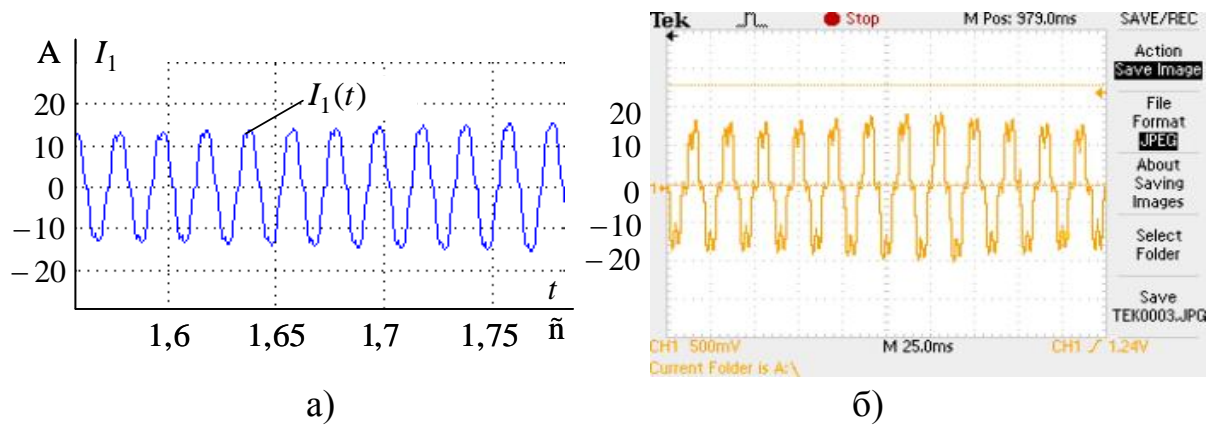


Рис. 3. Осциллограммы токов статора асинхронного двигателя, полученные на имитационной модели а) и реальном электроприводе с ТПУ б)

Проведем анализ потерь в асинхронном двигателе при пуске прямым включением в сеть и с применением тиристорного пускового устройства. Для сравнительного анализа в одинаковом цикле работы двигателя будем определять мощность, потребляемой двигателем из сети P_s , мощность на валу двигателя P_m , потери мощности в двигателе ΔP_s и потери мощности в двигателе при нагреве активных сопротивлений статора P_{1a} .

Расчет мгновенного значения мощности, потребляемой двигателем из сети при его работе во всех режимах, будем находить из выражения:

$$P_s = u_{1a} \cdot i_{1a} + u_{1b} \cdot i_{1b} + u_{1c} \cdot i_{1c}, \quad (1)$$

где u_{1a} , u_{1b} , u_{1c} – мгновенные значения фазных напряжений двигателя;
 i_{1a} , i_{1b} , i_{1c} – мгновенные значения фазных токов.

Мгновенное значение мощности на валу двигателя будем определять по уравнению:

$$P_m = M \cdot \omega \quad (2)$$

где M – мгновенное значение момента асинхронного двигателя, Н·м;
 ω – скорость двигателя, рад/с;

Потери мощности в двигателе определяются как разница мощности, потребляемой двигателем из сети, и механической мощности на его валу:

$$\Delta P_s = P_s - P_m. \quad (3)$$

Потери мощности на активных сопротивлениях статора, от протекающего тока:

$$P_{1a} = 3 \cdot i_{1a}^2 \cdot R_1, \quad (4)$$

где R_1 – активное сопротивление фазы статора.

Моделирование процессов в электроприводе произведено для асинхронного двигателя серии АИР90S2, имеющего следующие каталожные данные: номинальная мощность $P_n = 3,4$ кВт; номинальное фазное напряжение $U_{1n} = 220$ В; номинальная синхронная скорость $\omega_{0n} = 314,15$ рад/с, номинальную скорость $\omega_n = 290,0$ рад/с, номинальный к.п.д. $\eta_n = 0,76$ о.е.; номинальный коэффициент мощности $\cos\varphi_n = 0,72$ о.е.; кратность пускового тока $k_i = \frac{I_p}{I_n} = 6,0$ о.е.; кратность максимального момента $k_{max} = \frac{M_p}{M_n} = 2,2$ о.е. Эти данные позволяют рассчитать по методике [1] параметры Т-образной схемы замещения двигателя.

В результате моделирования пуска асинхронного двигателя прямым включением в сеть получены графики переходных процессов скорости $\omega(t)$ и момента $M(t)$ рис. 4, а также графики мощностей и потерь мощности в двигателе рис. 4, б.

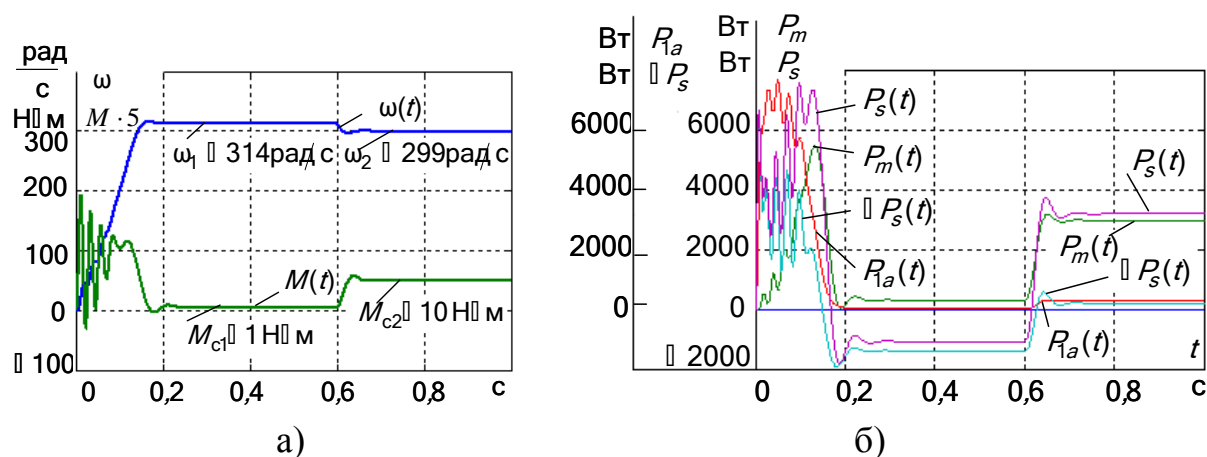


Рис. 4. Графики переходных процессов при пуске асинхронного двигателя прямым включением в сеть

В результате исследований установлено, что при прямом пуске асинхронного двигателя с моментом сопротивления $M_{c1} = 1$ Н·м его установившаяся скорость $\omega_1 = 314$ рад/с, при набросе нагрузки до 10 Н·м его установившаяся скорость $\omega_1 = 299$ рад/с. Ударный динамический момент достигает 40 Н·м, что практически в 4 раза превышает номинальный момент двигателя АИР90S2, равный 10,8 Н·м.

Из приведенных графиков переходных процессов мощностей и потерь мощности в двигателе рис. 4, б получаем следующие данные: мощность, потребляемая двигателем от ТПУ за цикл работы $P_s = 1796 \text{ Вт}$, мощность на валу двигателя за цикл работы $P_m = 1677 \text{ Вт}$, потери мощности в двигателе $\Delta P_s = 119 \text{ Вт}$.

В результате имитационного моделирования пуска асинхронного двигателя через ТПУ получены графики переходных процессов скорости $\omega(t)$ и момента $M(t)$ рис. 5, а также графики мощностей и потерь мощности в двигателе рис. 5, б.

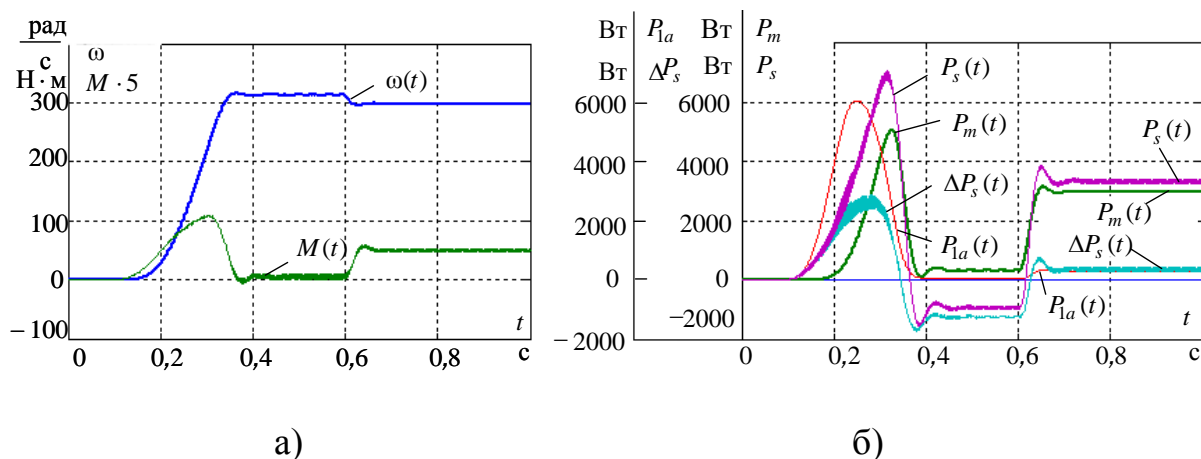


Рис. 5. Графики переходных процессов при пуске асинхронного двигателя через тиристорное пусковое устройство

Анализ переходных процессов, приведенных на рис.5, показывает, что ударные динамические моменты при пуске и набросе нагрузки отсутствуют, двигатель разгоняется плавно. Потребляемые мощности: $P_s = 1784 \text{ Вт}$, $P_m = 1635 \text{ Вт}$, потери мощности в двигателе $\Delta P_s = 149 \text{ Вт}$.

Выводы:

- При пуске асинхронного двигателя через тиристорное пусковое устройство устраняются ударные динамические моменты.
- Потери электрической энергии в электроприводе с ТПУ возрастают в установившихся режимах. Для уменьшения потерь в установившихся режимах все три фазы ТПУ следует шунтировать контактами дополнительного контактора.

Список литературы

1. Чернышев А.Ю. Электропривод переменного тока: учебное пособие / А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011.– 213 с.