



УДК 621.313-57

**Малышев Ю. С.**, доцент, к.т.н., кафедра Э и ЭОВТ ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
**Епифанов В. П.**, доцент, к.т.н., кафедра Э и ЭОВТ ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
603951, г Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

## УСТРОЙСТВО ПЛАВНОГО ПУСКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

*Ключевые слова: плавный пуск, асинхронный двигатель, фазовое управление.*

*В статье выполнено сравнение различных способов пуска асинхронного двигателя и выявлены преимущества фазового управления. Предложен способ пуска при изменении питающего напряжения в зависимости от скольжения и коэффициента мощности. Выявлен закон изменения угла открытия в зависимости от коэффициента мощности. Рассмотрены энергетические процессы в асинхронном двигателе при осуществлении пуска предложенным способом.*

Большой интерес представляет изменение величин, характеризующих работу асинхронного электродвигателя от степени загрузки или, что то же самое, от механической нагрузки на валу двигателя. К их числу относятся следующие величины: скорость вращения, к.п.д, коэффициент мощности, вращающий момент, ток статора электродвигателя. При пуске к асинхронному электродвигателю предъявляют ряд требований: малая величина пускового тока, требуемая величина начального пускового момента, достаточно плавное нарастание скорости вращения для снижения динамических воздействий на приводной механизм. Использование двигателей с фазным ротором позволяет решить задачу уменьшения пускового тока, но в этом случае снижается надежность и увеличивается стоимость эксплуатации. При использовании схемы реакторного пуска можно снизить величину подводимого напряжения, но начальный вращающий момент снижается в квадратной зависимости от напряжения на двигателе.

Для уменьшения пускового тока используют различные методы управления: импульсные, фазовые, частотные. На обмотку статора асинхронного двигателя при этом подается напряжение в виде отдельных отрезков синусоиды, что вызывает гармонические искажения напряжения, и требует применения сложных схем управления. Для уменьшения влияния высших гармоник необходимо корректировать закон изменения угла открытия тиристоров или транзисторов  $\alpha$  в зависимости от характера режима работы. Поэтому управляемый пуск АД возможен, если выполняется условие  $\alpha_{\text{трөг}} = \alpha_{\text{ном}}$ , где  $\alpha_{\text{трөг}}$  - начальный угол управления, при котором  $M_{\text{пус}} = M_{\text{с.трөг}}$ ,  $I_{\text{пус}} \approx 2I_{\text{ном}}$ . В этом случае проявляется одно из существенных преимуществ бесконтактного пуска перед контактным и дроссельным.

Для получения требуемого закона управления необходимо выполнять условие снижения напряжения двигателя по закону  $U_{\text{да}} = U(1 - e^{-1/\phi 1s})$ . При реализации управления в функции изменения скольжения по экспоненциальному закону осуществляется плавное увеличение угла открытия  $\alpha(t)$ , от изменения коэффициента мощности  $\phi$  от 0,4 до 0,9.

С изменением скольжения от  $s=1$  до  $s=s_{\text{ном}}$  ток статора и ротора и угол  $\phi_1$  уменьшаются.

На основании вышеизложенного, в момент времени  $t=0,005$  сек.,  $s=1$ , когда появляется положительная полуволна напряжения, необходимо открыть тиристор VS1 (рис.1), на двигатель поступит напряжение  $0,5 \cdot U_1$ . Угловая скорость ротора начинает плавно увеличиваться и, соответственно, угол открытия тиристора VS1 увеличивается. Это вызывает увеличение напряжения, коэффициента мощности и момента двигателя (рис. 2).

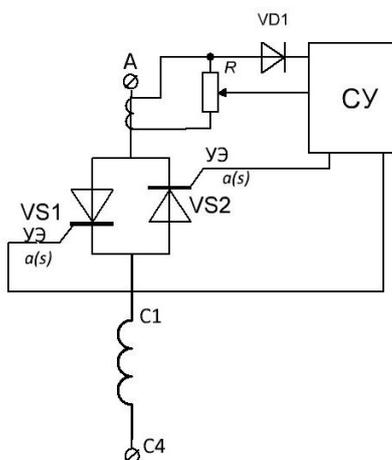


Рис. 1 Силовая цепь включения двигателя

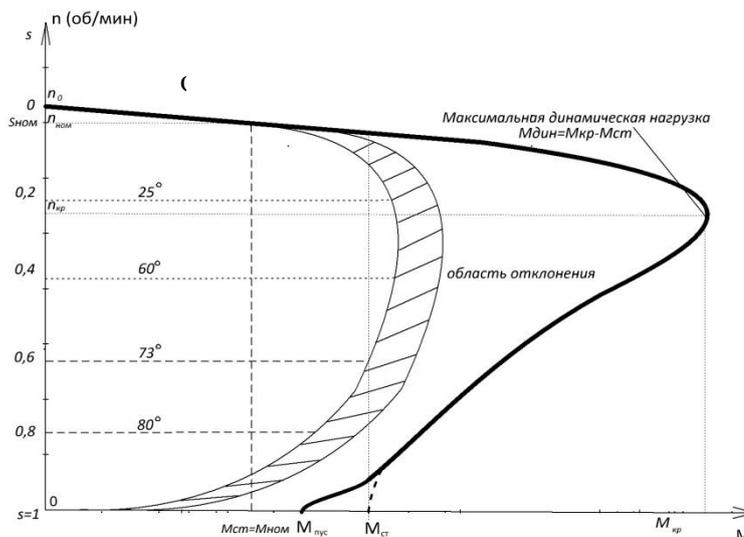


Рис. 2 Механическая характеристика двигателя при плавном пуске

Данный вариант пуска асинхронного двигателя, это включение на пониженное напряжение с целью уменьшения пускового тока и с последующим переходом на полное напряжение сети с использованием коэффициента мощности для определения закона управления. Поэтому важнейшей характеристикой данного способа управления является энергетическая экономичность пуска и разгона в зависимости от коэффициента мощности.

Чувствительность вращающего момента  $M_{в\text{ра}}$  двигателя к напряжению и скольжению необходимо учитывать в момент пуска, т. к. от пускового момента  $M_{п\text{ус}}$  и от пускового напряжения зависит механическая характеристика двигателя (рис. 2). В этот момент учитывается инерционность электропривода и выбор зазоров. Ротор начинает вращаться и одновременно увеличивается  $M_{в\text{ра}}$ . Для любого момента времени мгновенное значение напряжения определяется временем разгона электропривода примерно в течение 6 сек. При управлении напряжением на двигателе в зависимости от величины угла  $\phi_1$  за одну секунду происходит увеличение напряжения примерно на 33 В при частоте 50 Гц и при разгоне ротора до номинальной частоты вращения за время шесть секунд. Число периодов при этом составляет 300. Значит, в течение 1с напряжение на двигателе увеличится от 190 В до 223 В соответственно, при этом ( $0,6 U_1$ ,  $M_{в\text{ра}}=0,4 M_{н\text{ом}}$ , а скольжение  $s = 0,6$ ). В конце процесса пуска напряжение на двигателе увеличится до 380 В ( $U_1$ ,  $M_{в\text{ра}}=M_{н\text{ом}}$ ,  $s=0,01$ ). Величина скольжения ( $s$ ) является определяющей величиной с экономической точки зрения в различных режимах работы двигателя: пуск, разгон, холостой ход, реверс. Поэтому использование скольжения в системе управления напряжением на двигателе при пуске является актуальной задачей [1].

При  $s=1$ , ротор и приводной механизм неподвижны, на двигатель подается напряжение  $0,5 U_1$ , идет процесс выбора слабины и зазоров в механических элементах электропривода (рис 2), что целесообразно, т.к. уменьшаются динамические нагрузки. Для получения требуемого закона изменения напряжения на двигателе  $U_{д\text{ви}}$  необходимо использовать устройства силовой электроники, открываемые в зависимости от скольжения  $\alpha(s)$  (рис. 1). Открытие тиристоров фазы А осуществляется от датчика тока установленного в данной фазе А, для фаз В и С – аналогично. В процессе уменьшения

скольжения плавно выбираются зазоры, напряжение на двигателе  $0,5 U_1$  В; ток  $2 I_{\text{ном}}$ ,  $M_{\text{вращ}}=M_{\text{ст.}}$ , плавно увеличивается напряжение и вращающий момент на двигателе, т.к.  $\cos\varphi_1$  увеличивается, а угол  $\varphi_1$  уменьшается, что сопровождается плавным увеличением напряжения на двигателе в зависимости от скольжения (рис.3, 4). После остановки электропривода тиристоры закрываются. При повторном пуске электропривода система управления тиристорами осуществляется с использованием коэффициента мощности электропривода [4]. Данные исследования сводим в таблицу №1.

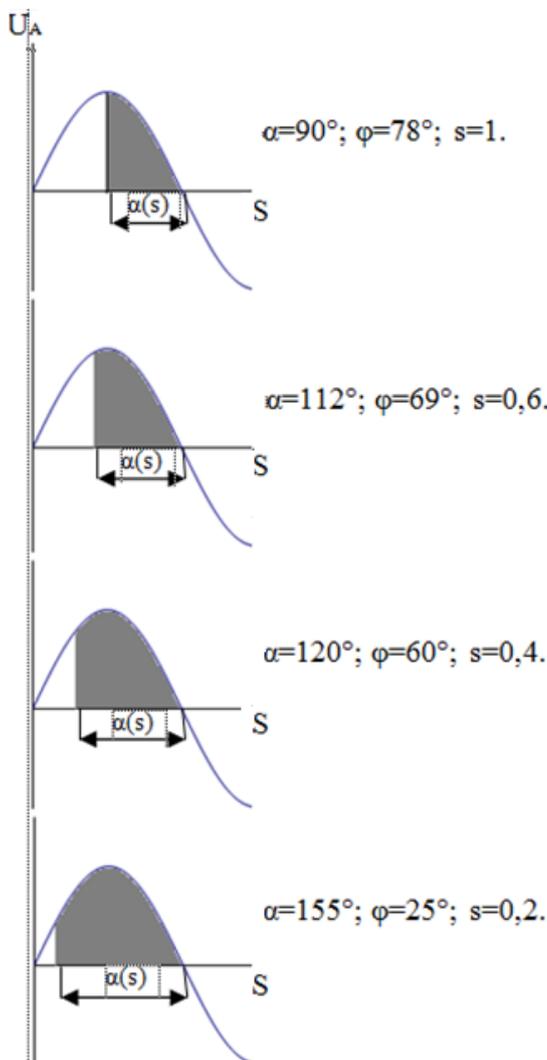


Рис. 3 Диаграммы изменений  $U_{\text{дв}}$  в зависимости от  $s$

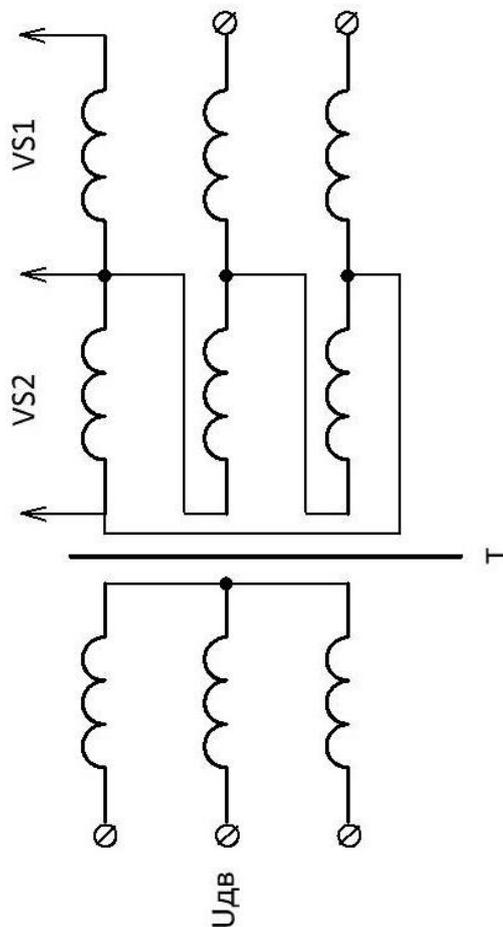


Рис. 4 Управление тиристорами VS1, VS2 в фазе А при  $s=1$

В таб. 1 показаны изменения  $U_{\text{дв}}$  в зависимости от скольжения и угла  $\varphi_1$  для положительной полуволны фазы А (рис.4) [ 1 ].

Таблица 1

S	$U_{\text{дв}}$	$M_{\text{вращ}}$	$\cos\varphi_1$	$\varphi_1$
1	$0,5U_1$	$0,3 M_{\text{ном}}$	0,29	$73^0$
0.6	$0,6 U_1$	$0,4 M_{\text{ном}}$	0,37	$68^0$
0.4	$0,7U_1$	$0,6 M_{\text{ном}}$	0,5	$60^0$
0.2	$0,8U_1$	$2 M_{\text{ном}}$	0,9	$25^0$
0.01	$U_1$	$M_{\text{ном}}$	0,96	$20^0$

С увеличением частоты вращения ток статора сохраняет пусковые значения равные  $2 I_{\text{ном}}$ , а  $M_{\text{вращ}}$  (рис.3) увеличивается (рис.2, 3), угол  $\varphi_1$  уменьшается, что способствует увеличению угла открытия  $\alpha(s)$  (рис. 4).

Для любого момента времени величина напряжения на двигателе  $U_{\text{дв}}$  определяется углом открытия тиристоров (рис.5) в зависимости от изменения угла  $\varphi_1$ .



Рис.5 Диаграмма напряжения фазы А от угла открытия тиристора в функции  $\cos \varphi$

При этом в блоке управления от датчиков тока формируются сигналы открытия тиристорov в фазах А, В, С электропривода в зависимости от  $\varphi_1$  и  $s$ , что позволяет выполнить условия пуска и разгона электропривода с учетом технико-экономических показателей от электромеханических величин электропривода в автоматическом режиме (рис. 2):

- 1 – Ток пусковой не более  $2I_{ном}$ .
- 2 – Требуемая величина  $M_{бра}$  при пуске.
- 3 – Плавное нарастание скорости электропривода.

#### Список литературы:

- [1]. Автоматизированные судовые электроприводы. А.М. Бабаев, В.Я. Ягоднин М.: «Транспорт» 1998 г. 447 с.
- [2]. Компенсация реактивной мощности. Б.А. Константинов, Г.З. Зайцев. «Энергия» Ленинград: 2005. 101 с.
- [3]. Курс электротехники А.С. Касаткин, М.В. Немцов. Высшая школа. Москва. 2005 г. 531 с.

### DEVICE FOR THE SOFT START OF THE ASYNCHRONOUS ENGINE

Yr.S.Malyshev, V.P. Epifanov

*Keywords: soft start, asynchronous motor, phase control.*

*The article compares different ways of starting an induction motor and determines the advantages of phase control. A method of starting with a change in the supply voltage is proposed depending on the slip coefficient and the power factor. The law of change in the angle of opening is revealed depending on the power factor. The energy processes in an asynchronous motor are considered in implementing the proposed method.*