

## Методика за определяне настройката на релето за време в пускателите “звезда/триъгълник”

Венелин Яков, Аспарух Василев, Емил Кузманов, Илия Браянов

*Method of Adjustment of Timing Relay in “Star/delta” Starters: The paper shows a new method for previous adjustment of timing relays in “star/delta” starters. In this case the time of start transient process is detected by means of solved a differential equation when a “star/delta” starting is realized. The solution of the differential equations is made, using MATLAB.*

**Key words:** Timing Relay, “Star/delta” Starter, Transient Process, Adjustment of Timing Relay.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Независимо от бурното навлизане на статичните преобразуватели в електрозадвижването, използването на класическите магнитни пускатели е все още актуално, което се подчертава от наличието им в производствената листа на всички фирми-производителки на електромеханични изделия[5,6]. Съществен дял в това производство заемат пускателите “звезда/триъгълник” за мощности на електродвигателите над 20 кВт.

Наред с безспорните предимства на тези пускатели: намаляване на пусковия ток три пъти; ограничаване на максималното динамично претоварване при пускане и постигане по този начин на известна плавност при пускане те се характеризират и с определени недостатъци. Основните от тях са[1,2]:

а) трикратно намаляване на пусковият момент в “звезда”, което ги прави приложими само за механизми с вентилаторна характеристика или при пускане на празен ход на агрегатите;

б) проблеми при топлинната защита на електродвигателя при използване на термична защита/5/. Препоръчителният монтаж на защитата във фазовата верига осигурява защитата както в съединение “звезда”, така и в съединение “триъгълник”, но поради несъобразяване с времето на развъртане в “звезда” и значителното топлинно натоварване на релето в този режим, често защитата не позволява превключване в “триъгълник” и се налага загрубването и. По този начин се нарушава надеждността на защитата на двигателя като цяло. Отсъствието на достатъчно разнообразие на термични защиты с различни защитни класове допълнително усложнява защитата;

в) неправилната настройка на релето за време в пускателите “звезда/триъгълник” може да доведе до нарушаване на ефекта от пускателя – при скъсено време за развъртане в “звезда” се съкращава времето за развъртане и се увеличава токовият удар в съединение “триъгълник”, а при удължено време за развъртане в “звезда” се увеличава излишно времето за пускане и се натоварват термично допълнително както електродвигателят, така и термичната защита, която може и да изключи;

г) при отказ на релето за време – трайна работа в установен режим в съединение “триъгълник” и неправилно настроена защита, двигателят изгаря.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

Настоящият материал е посветен на решаване на третия проблем в експлоатацията на пускателите “звезда/триъгълник”, а именно – създаване на методика за предварително определяне на настройката на релето за време при известни параметри на двигателя и механизма, с цел осигуряване на безотказна работа на агрегата. За целта е необходимо при предварително известни номинални данни на двигателя и агрегата да се определи времето за развъртане и на тази основа да се настрои релето за време в пускателя.

В литературата [1,2] са известни някои резултати относно приблизителните времена на пускане на АД най-вече при пускане на празен ход:

$$t_{II} = T_M \frac{1}{2} \left( \frac{s_{HAC} - s^2}{2s_K} + s_K \ln \frac{s_{HAC}}{s} \right), \quad (1)$$

където:  $T_M = \frac{J\omega_0}{M_K}$  е механичната времеконстанта на двигателя,  $s$ ;

$s_{HAC}$  - началното хлъзгане от което се отчита времето;

$s$  - крайното хлъзгане на установения режим.

Ако се приеме, че установеното хлъзгане е  $s = 0$ , времето за пускане е безкрайност. Практически се счита, че преходният процес приключва при достигане на 95% от установената скорост. За този случай при пускане от неподвижно състояние  $s = 1$  до  $s = 0,05$  и пренебрегване на стойността  $0,05^2$  за времето на пускане на празен ход на АД се получава:

$$t_{II} \approx T_M \left( \frac{1}{4s_K} + 1,5s_K \right), \quad (2)$$

където  $s_k$  е критичното хлъзгане.

Доказано е, че зависимост (2) има минимум при  $s_k = 0,407$ .

Аналитичните методи за определяне на времето на развъртане при натоварен двигател са доста сложни особено що се касае при пускане с нелинейна механична характеристика на вала, каквито са помпи, вентилатори и центрофуги. При това получените крайни резултати не са удобни за практическо приложение.

Графичните и графо-аналитични методи за изчисляване на преходните процеси може да се използват в случаите, когато статичният момент е постоянен и когато зависи от скоростта. Най-разпространени [2] са "метода на крайните нараствания" и "метода на площите". И двата метода са трудоемки, изискват доста както изчислителна работа, така и графични построения, така че са неудобни за инженерни разчети.

Много по-удобни са методите за определяне на времето за развъртане при използване на съвременни средства за моделиране, каквато е средата MATLAB[3,4]:

Анализът на преходните процеси ще бъде извършен на базата на електродвигане на помпени агрегати с асинхронни двигатели. Като изходна база служат основните механични характеристики на електродвигателя и на помпения агрегат. Замествайки тези известни изрази, за уравнението се получава следното:

$$\frac{2M_K}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} - (M_0 + (M_{cu} - M_0) \left( \frac{\omega}{\omega_n} \right)^2) = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (3)$$

където  $J = J_{\text{де}} + J_{II}$ , е общият инерционен момент на помпения агрегат,  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ .

От зависимостта  $\omega = \omega_0(1 - s)$  след диференциране намираме:

$$\frac{d\omega}{dt} = -\omega_0 \frac{ds}{dt}. \quad (4)$$

а след заместване на (4) в (3) се получава следната зависимост:

$$\frac{2M_K}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} - (M_0 + (M_{CH} - M_0) \left(\frac{\omega_0(1-s)}{\omega_H}\right)^2) = -J \cdot \omega_0 \frac{ds}{dt} \quad (5)$$

Аналитичното решение на (5) е сложна задача поради нелинейния характер и на двата момента и решение може да се получи единствено при отсъствие на статичен момент, т.е. при пускане на празен ход на двигателя.

Тогава аналитичното решение се осъществява с функцията **"dsolve"**, но и този случай това е неприемливо, защото освен всичко изисква изключително много време.

Значително по-рационално е използване на числен метод за определяне на преходните процеси при пускане на помпени агрегати. Това е абсолютно задължително при сложни изрази на уравнението от вида на (5). Такъв е случаят на зависимостта, описваща преходните процеси на асинхронен двигател с помпен агрегат на вала пускан в система "звезда/триъгълник". Особеностите в този случай е тази, че моментът на двигателя в съединение "звезда" е редуциран три пъти в сравнение с този в съединение "триъгълник".

Решаването на диференциални уравнения по този метод включва следните етапи:

- съставяне на диференциалното уравнение на преходния процес в нормализиран вид:

За цела изразите:

$$A = J\omega_0; \quad B = 2M_K; \quad C = s_k \quad (6)$$

се заместват в (8)

Уравнение (5) добива вида:

$$-A \frac{ds}{dt} = \frac{B}{\frac{s}{C} + \frac{C}{s}} - (M_0 + (M_{CH} - M_0) \left(\frac{\omega_0(1-s)}{\omega_H}\right)^2) \quad (7)$$

Основните моменти при решаване на (7) в MATLAB среда са описани в [4,5]:

- привеждане към система диференциални уравнения от първи ред (в случая това не е необходимо, защото то е от първи ред);

- съставя се файл-функцията, пресмятаща десните части на канонизираната система диференциални уравнения, т.е. на първите производни на новите зависими променливи;

- избират се подходящи опции, или казано с езика на МАТЛАБ, се избират подходящи стойности на свойствата (properties), управляващи изчислителния процес;

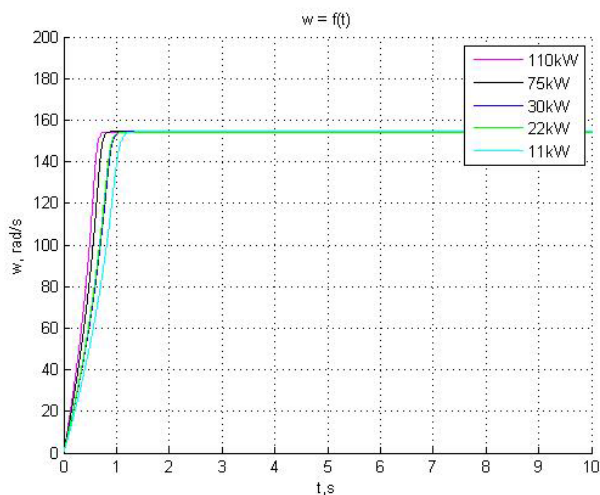
- написване, при необходимост, на функциите, пресмятащи масовата матрица, (дясната част в уравнение 10) в съответствие с избраните стойности и свойствата от предишната точка;

- съставяне на главната програма, в която се въвеждат стойности на физическите параметри, началните условия, вика се една от седемте МАТЛАБ-функции за числено интегриране (Solvers, в случая **ode45**) със съответните действителни аргументи и опции и се визуализират получените резултати с подходящи графики.

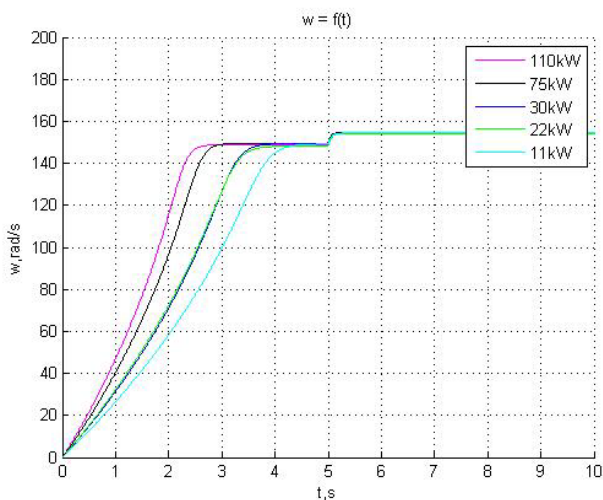
Илюстрация на възможностите на програмата са проведени при една серия помпени агрегати на фирма "Випом" – Видин, които се намират в експлоатация във ВиК дружества на страната. Данни за електродвигателя и помпата са приведени в табл. 1. На фиг.1 са приведени преходните процеси при директно пускане на агрегатите, а на фиг. 2 – при пускане в пускатели "звезда/триъгълник". В програмата е зададено време на развъртане в съединение "звезда" 5 сек.

Таблица 1. Параметри на помпи и двигателите към тях

Помпа, тип	$P_N, kW$	$Q_N, l/s$	$H_N, m$	$J_{дв}+J_{д}, kg.m^2$
SP120-14	110	45	135	5,4
SP120-9	75	45	84	4,2
SP120-4	30	45	35	2,1
SP45-17	22	14	95	1,5
SP45-8	11	14	42	0,9



Фиг.1. Преходни процеси на помпени агрегати при директно пускане



Фиг.2. Преходни процеси на помпени агрегати при пускане "звезда/триъгълник"

От резултатите на фиг.1 се вижда, че при директно пускане времето на пускане варира в много малки граници – от 0,5 до 1,4 сек., а при пускане “звезда/триъгълник” – от 2,4 до 4,3 сек. В табл. 2 са приведени резултатите, които се препоръчват за настройка на релето за време за този клас помпи.

Таблица 2. Резултати от приложението на разработената методика

Помпа, тип	Номинална мощност на двигателя, kW	Препоръчително време за настройка на релето за време, s
SP120-14	110	2,4
SP120-9	75	2,7
SP120-4	30	3,5
SP45-17	22	3,6
SP45-8	11	4,1

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена е методика, базираща се на решаване на уравнението на преходния процес на електрозадвижане с пускател “звезда/триъгълник” в MATLAB среда. От получените криви на преходния процес при различни помпени агрегати (по мощност на двигателя и параметри на помпата) може да се подбере предварително времето за настройка на релето за време в пускателя. По този начин може да се избегнат ненужни донастройки на агрегата по време на въвеждането му в експлоатация.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ключев, В., Теория на електрозадвижането, Техника, С., 1989.
- [2] Минчев, Д., Основи на електрозадвижането, Техника, С., 1973.
- [3] Kezunovic, M., B. Kasztenny, Z. Galijasevic, Modeling, Developing and Testing Protectiv Relays using MATLAB, Programmable Relays and Digital Simulators, [Texas&M.University](http://Texas&M.University), Department of Electrical Engineering, TX 77843-3128.&
- [4] Йорданов,Й. Приложение на MATLAB в инженерните изследвания.Русе, , ч.І +ч.ІІ. 2004.
- [5] [www.moeller.bg](http://www.moeller.bg)
- [6] [www.schneiderelectric.bg](http://www.schneiderelectric.bg)

### За контакти:

Доц.д-р Венелин Яков, Катедра “Автоматика, информационна и управляваща техника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, Тел.: 082 888 269, E-mail: [iacov@ru.acad.bg](mailto:iacov@ru.acad.bg).

Инж. Аспарух Василев, Катедра “Автоматика, информационна и управляваща техника”,Русенски университет “Ангел Кънчев”,Тел.:082 888684, E-mail: [avasilev@ru.acad.bg](mailto:avasilev@ru.acad.bg).

Доц.д-р Емил Кузманов, Катедра “Автоматика, информационна и управляваща техника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, Тел.: 082 888 269, E-mail:[ekuzmanov@ru.acad.bg](mailto:ekuzmanov@ru.acad.bg).

Доц.д-р Илия Браянов, Катедра “Числени методи и статистика”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, Тел.: 082 888 466, E-mail:[brayanov@ru.acad.bg](mailto:brayanov@ru.acad.bg).

**Докладът е рецензиран.**