Mechanics Transport Communications
Academic journal

ISSN 1312-3823
issue 3, 2011
article № 0595
http://www.mtc-aj.com

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОЗИЦИОННИ СИСТЕМИ – ЛАБОРАТОРЕН СТЕНД

Васил Димитров

vdimitroff@abv.bg

Главен асистент, Висше транспортно училище "Тодор Каблешков"
БЪЛГАРИЯ

Резюме: *Бързият индустриален прогрес поставя по-високи изисквания към качеството на обучение на студентите. В доклада се разглеждат възможности за изпитване на съвременни електрозадвижвания на позиционни системи. Разработен е лабораторен стенд, който създава условия за практическо обучение на студенти в много области. Той е изграден от асинхронен двигател от висок клас на енергийна ефективност, управляван от честотен преобразувател Sinamics G120. Синхронен генератор и резистори реализират система за натоварване на двигателя. Програмируем логически контролер Simatic S7-200 е включен в стенда с цел оптимизация на управлението на задвижването и позиционирането по предварително зададен критерий. Съвременните позиционни системи изискват ефективно решение на проблема на индиректната идентификация на смущенията при бързопротичащи процеси. Индиректната идентификация взема под внимание промените на контролирани параметри като резултат на смущение. В този лабораторен стенд са включени във веригата на синхронния генератор датчик на ток и датчик на напрежение, с които се определя неговата мощност. PLC Simatic S7-200 поддържа възможност за взаимодействие с двата датчика чрез аналоговите си входове, към които те са свързани. След измерване на контролираните параметри (тока и напрежението на генератора и скоростта на двигателя, получена от енкодер) и извършване на необходимите изчисления съпротивителният момент може да бъде еднозначно определен. Използвайки възможностите на PLC могат да бъдат решавани редица оптимизационни задачи, както за позиционирането по отношение на точност и производителност, така и при изследжане на асинхронни заджижвания с честотно управление по предварително зададен критерий*

Ключови думи: *позиционни системи, индиректна идентификация, PLC.*

1. УВОД

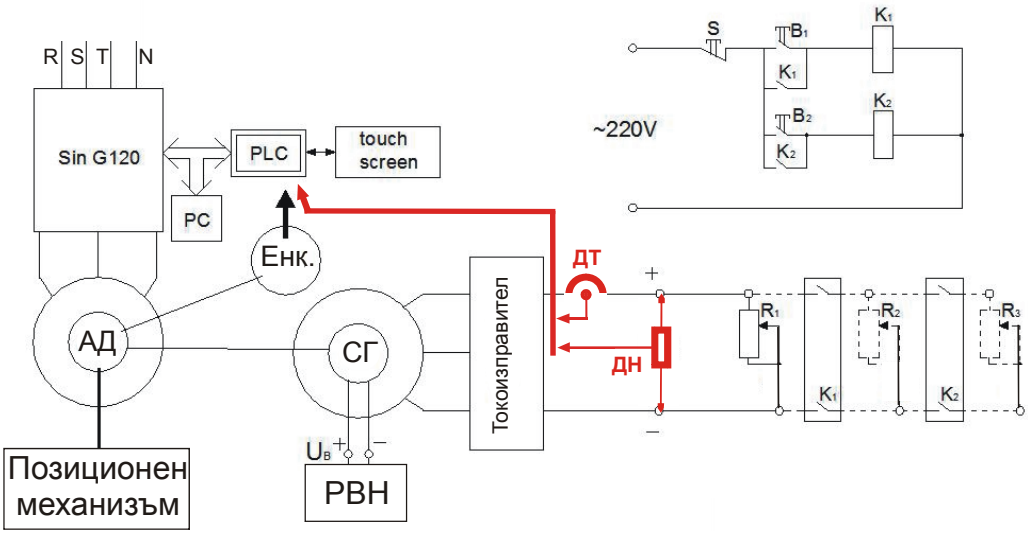
Бързото технологично развитие на промишлената електроника, енергетиката и транспортната техника изисква непрекъснато повишаване нивото и подготовката на специалистите, работещи в тези области. Внедряването на нови технологии и продукти в електрообзавеждането и автоматизацията на промишлеността, бита и транспорта поставя по-високи изисквания по отношение на качеството на обучение на студентите, подготвяни за работа в тези сфери. Особено е необходима не само теоретична подготовка, отговаряща на тенденциите в развитието на съвременната техника, но и засилена практическа насоченост в обучението. Модернизацията на съществуващата лабораторна база, както и изграждането на нови стендове и макети за провеждане на упражнения, са едни от важните условия за постигане на високите цели, поставени пред преподавателите в съответствие с тенденциите в развитието

на образованието. В тази връзка в лаборатория „Микропроцесорно управление на електрозадвижванията и алтернативни източници на енергия” е изработен стенд на асинхронно задвижване с честотен преобразувател, управлявано от програмируем логически контролер (PLC) Simatic S7-200, разработен от фирмата Siemens. Възможностите на този стенд са разширени със система за натоварване на асинхронния двигател посредством синхронен генератор и товарни реостати, изработен е и позиционен механизъм, задвижван от асинхронния двигател. По този начин е създаден модерен стенд за научни и инженерни изследвания, моделиране и изпитания на асинхронно електрозадвижване, с помощта на който се повишава качеството на подготовка на обучаемите по редица основополагащи дисциплини, изискващи провеждане на практически упражнения в осъвременена лабораторна база с конкретни технически средства и с възможност за настройка на различни типове на управление работата на задвижването. За по-пълното използване на възможностите на включения в стенда PLC S7-200 конфигурацията му е разширена с входни датчици и преобразуватели към тях, като по този начин се увеличават възможностите за индиректната идентификация на смущенията и могат да се прилагат различни похвати за оптимизиране на скоростта, точността и производителността на изследваните позиционни механизми съобразно конкретните особености и наложени ограничения; могат да се изследват възможностите за управление на асинхронни електрозадвижвания при симулация на променлив съпротивителен момент.

2. ЛАБОРАТОРЕН СТЕНД НА АСИНХРОННО ЗАДВИЖВАНЕ С ЧЕСТОТЕН ПРЕОБРАЗУВАТЕЛ

Стендът за научни и инженерни изследвания на съвременни позиционни системи и на честотно-управляеми асинхронни задвижвания е изграден от следните елементи (фиг. 1):

- Трифазен асинхронен двигател от серия 1LA7 с повишена енергийна ефективност (мощност 2,2 kW) с монтиран на вала енкодер (разработка на фирмата Siemens);
- Честотен преобразувател Sinamics G120 (разработка на фирмата Siemens), предназначен за управление на двигателя;
- Програмируем логически контролер PLC Simatic S7-200 (разработка на фирмата Siemens) за оптимизация режимите на работа на електрозадвижването по зададен критерий в зависимост от конкретното изследване;
- Входно-изходен информационен панел TP177 micro Touch Panel - съвременен човеко-машинен интерфейс за следене на параметрите, характеристиките и състоянието на управляваните системи, както и за въвеждане на периодични уточнения на зададените стойности;



Фиг.1 Стенд на асинхронно задвижване с честотен преобразувател

- Система за натоварване на асинхронния двигател, изградена от синхронен генератор (СГ) с вграден токоизправител, товарни реостати R_1, R_2, R_3, бутони S, B_1, B_2, контактори K_1, K_2 и регулатор на възбудителното напрежение на СГ (РВН);
- Датчик на напрежение ДН (диференциален усилвател) и датчик на ток ДТ – трансдуцер, базиран на ефекта на Хол;
- Позиционен механизъм;
- Компютърна система (PC) с инсталирани софтуерни пакети STEP 7-Micro/WIN (за управление на PLC), WinCC-flexible (за програмиране на информационния панел), Starter (за връзка с честотния преобразувател).

Всички елементи могат да работят както съвместно, така и поотделно, с което се създава възможност за изпитания и провеждане на различни лабораторни упражнения, например:

- изследване на синхронен генератор при постоянна скорост и променливо натоварване;
- изследване на отворени и затворени системи за автоматично управление на асинхронни електрозадвижвания при променлив съпротивителен момент;
- изследване на точността на спирането на позиционни механизми при непостоянен статичен момент при различни скорости на движение и установяване, със или без оптимизация на производителността;
- изследване на датчици (на ток, напрежение, скорост, преместване) и др.

При провеждането на всички изпитания е създадена възможност за промяна на натоварването на задвижването по няколко начина:

- съпротивителният момент може да бъде променян плавно чрез изменение на възбуждането на синхронния генератор (посредством РВН) или чрез промяна съпротивлението на товарните реостати;
- съпротивителният момент може да се променя скокообразно чрез промяна на броя паралелно свързани реостати.

3. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА ПОЗИЦИОННИТЕ СИСТЕМИ

В различни производствени отрасли качеството на обработваната продукция се определя от позиционни системи. При линейното позициониране електрически задвижван елемент на обекта доближава предварително зададена локална точка, като извършва преместване на разстояние S. Когато позиционирането се контролира от затворена система, пътят и скоростта са регулируемите величини. Като смущения се явяват промените на товара [4]. В зависимост от зададената скорост за движение, елементът, който трябва да бъде позициониран, изминава по-голям или по-малък път при различен товар, т.е. получава се грешка при спиране ΔS_C. Тя се дефинира като разлика между максималния и минималния спирачен път (S_{Cmax} и S_{Cmin}):

(1) $$\Delta S_C = S_{Cmax} - S_{Cmin}$$

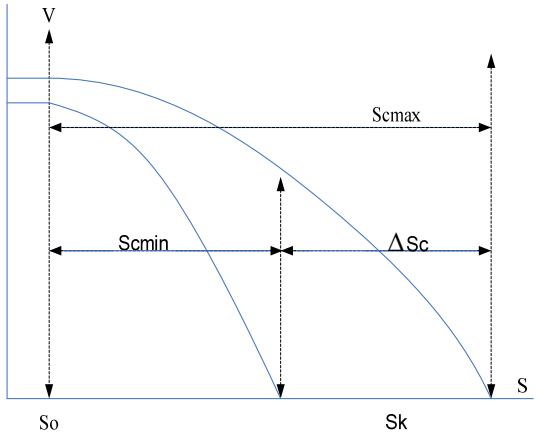
Спирачният път е разстоянието, изминато от работния орган на механизма от зададената точка *So* на задействане на пътния апарат, даващ команда за спиране, до точката на окончателно спиране, която се намира в зона с ширина ΔS_C около точката на предназначение *Sк* (фиг. 2а) [1].

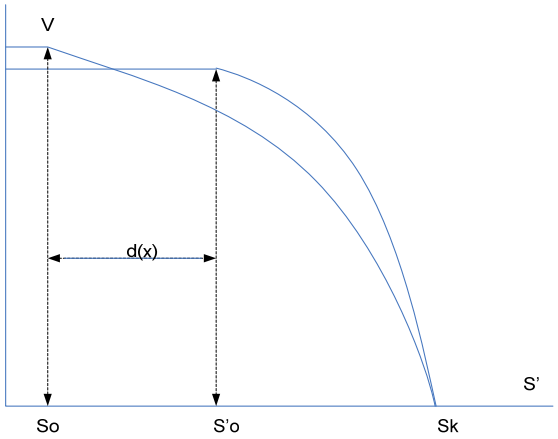
В голяма част от автоматизираните задвижвания на производствените механизми командите за спиране се подават от пътни апарати, настроени да задействат в определени точки от пътя. В действителност всеки пътен апарат задейства не в една точка, а в зона от пътя с ширина $\Delta S_п$, която е характерен параметър на всеки пътен апарат и се указва в каталозите. Спирачният път се влияе и от комутационната апаратура, задействана от пътния апарат и подаваща командата за началото на спирачния процес. Освен това, действителният спирачен път зависи основно от скоростта (от която започва спирането) и от съпротивителния момент на товара.

Следователно, за намаляването на грешката при спиране се задава определена установяваща скорост.

При системите за електрозадвижване на позиционни механизми от съществен интерес са въпросите, свързани с изследване влиянието на типа и параметрите на системата върху производителността на механизма при зададена точност на спиране (допустима грешка при спиране $\Delta S_{доп}$) [5]. Задвижването на позиционните системи се характеризира със следните параметри:

- Номинална скорост на движение на механизма *Vo*,





Фиг. 2а. Максимален и минимален спирачен път
Фиг. 2б. Спиране при изместване на началото на спирачния процес

- Брой на междинните скорости *n* и тяхната стойност $V_{M1}, V_{M2},..., V_{Mn}$,
- Установяваща скорост *Vy*.

Целта на изследванията е да се намерят оптимални стойности на тези параметри по критерия максимална производителност. Цикличният характер на работа на позиционните механизми позволява производителността им *П* да се определя в най-общ вид като реципрочна стойност на средната продължителност на цикъла $T_{Цср.}$:

(2) $$П = \frac{1}{T_{Цср.}}$$

В рамките на всеки цикъл съществува период, в който механизмът се движи (време на движение $T_{Ца}$) и период на престой (време на пауза $T_п$):

(3) $$T_Ц = T_{Цв} + T_п$$

Съществено влияние върху производителността и точността на спиране оказва определянето на координатите на точките на задействане на пътните апарати:

- So – превключване от номинална скорост *Vo* на междинна скороста *Vм,*
- Sм – превключване от междинна скороста *Vм* на установяваща скорост *Vy*.
- Sy – изключване на установяващата скорост *Vy* и начало на спирането.

Ако точката Sy е избрана така, че да отстои от точката на предназначение Sк (желаната точка на позициониране) на разстояние, равно на средния спирачен път, т.е.

(4) $$S_K - S_y = \frac{S_{Cmax} - S_{Cmin}}{2},$$

то действителната грешка при спиране не надвишава половината от максималната грешка:

(5) $$\Delta S_{C действ.} \leq \pm \frac{\Delta S_C}{2}.$$

Това е най-добрият начин за настройка на пътния апарат, задаващ началото на окончателното спиране на задвижването. Аналогично се определят и точките So и Sм. При двускоростни задвижвания превключването от номинална към установяваща скорост трябва да се извърши така, че в точката Sy задвижването да е успяло да се забави до скорост *Vy*. Теоретично за това е достатъчно да се изпълни условието:

(6) $$S_y - S_o \geq S_{Cmax}.$$

Ако $S_y - S_o >> S_{Cmax}$, то производителността на механизма намалява забележимо поради загубата на време за движение с ниска установяваща скорост *Vy* на разликата от разстоянията ($S_y - S_o$). За постигане на максимална производителност теоретично времето за движение с ниска установяваща скорост *Vy* трябва да клони към 0.

При многоскоростни задвижвания точките на превключване Sм се определят аналогично.

Следователно, времето за движение с ниска скорост определя производителността на позиционния механизъм, т.е. важно е да се определи моментът на превключване от висока към ниска скорост. За някои асансьори и други сравнително бързоходни механизми с нерегулируеми задвижвания точността на спиране се повишава чрез въвеждане на обратна връзка по доминиращото смущаващо въздействие x (напр. масата на товара). Точно спиране в точката на

предназначение Sк се постига, като се управлява преместването на началото на спирачния процес от точка S_O в точка S'_O на разстояние d(x) (фиг. 2б). В този случай разстоянието ($S_к – S_O$) между точката на предназначение и точката на задействане на пътния апарат, подаващ командата за спиране, се настройва равно на максималния спирачен път S_{Cmax}. Основен недостатък на схемите, разработени по този метод, е, че устройствата, реализиращи обратната връзка, не отчитат някои допълнителни смущаващи въздействия (напр. температурата и съпротивлението на роторните намотки).

Честотното управление създава възможност за регулиране скоростта на задвижването в широки граници, като по този начин може да се изследва зависимостта между производителността на позиционния механизъм и точността на спиране.

Позиционният механизъм от лабораторния стенд включва и редуктор, който преобразува въртеливото движение от вала на двигателя в постъпателно – придвижва зъбна рейка с показалец по линейна скала. Предавката между асинхронния двигател и редуктора е изпълнена с клиновиден ремък. Влияние върху точността на позиционирането в този случай оказват луфтовете в редуктора и приплъзването на ремъка. Двигателят е с мощност, многократно превишаваща необходимата за задвижване на редуктора, което е в съответствие с един от основните пасивни начини за повишаване на точността на спиране. Намаляването на приведената маса *m* и инерционния момент *J* на задвижването е реализирано чрез използването на специални шайби и оптимизиране на преводното отношение на механичната предавка, като по този начин се интензифицира спирачният процес. Стръмността на рампата на ускорение и рампата на намаляване на скоростта също оказва влияние върху производителността – те се определят чрез параметрите P1120 (Ramp-up time - време за ускорение от 0 до fmax) и P1121 (Ramp-down time - време за спиране от fmax до 0) на Sinamics G120 и могат да бъдат идентични, но и различни. Максимално допустимата честота fmax се въвежда чрез параметър P1082, като по този начин се ограничава скоростта на двигателя независимо от заданието (увеличаване на производителността може да се постигне чрез задаване на по-висока основна скорост, но тя се ограничава от конструктивните особености на позиционната система).

4. ОПТИМИЗАЦИЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА НА ПОЗИЦИОННИ СИСТЕМИ ПРИ ЗАДАДЕНА ТОЧНОСТ

Позиционните механизми твърде често осъществяват движения, повлияни от присъствието на специфични смущаващи въздействия. Точността на системата е непосредствено свързана с възможностите на управлението да отчита особеностите на доминиращите смущения. Използването на съвременни позиционни системи налага търсене на ефективни по отношение на точността решения на индиректна идентификация на смущенията при бързопротичащи процеси. Непрекъснато разширяващите се възможности на съвременните програмируеми контролери в позиционните системи поставя на преден план и въпроса за оценка на възможността те да бъдат използвани при индиректната идентификация на смущенията. Това ще позволи с подобряване качеството на движение да се запази ниската стойност на системата, т.е. да се повиши нейната конкурентноспособност.

В лабораторния стенд е създадена възможност за индиректна идентификация на смущенията чрез добавянето на датчици на ток и напрежение във веригата на синхронния генератор, които се свързват към аналоговите входове на PLC. По този начин се контролира изходната мощност на генератора и може да се определи съпротивителния момент на вала на двигателя.

С помощта на STEP7 Micro/WIN [2] е реализирана програма за оптимизация на производителността на позиционния механизъм чрез индиректна идентификация на съпротивителния момент при спазване на зададена точност на позициониране. Управляващата програма е изградена от няколко модула (подпрограми):

- дефиниране на USS-протокол за обмен на информация с честотния преобразувател. PLC получава непрекъснато информация за действителна изходна честота f (параметър r0021 на Sinamics G120), изчислената скорост на двигателя n (r0024), ефективните стойности на напрежението U (r0025) и тока I (r0027), електромагнитния момент M (r0031) и мощността P (r0032) [3];

- организиране на високо-честотен брояч, който отчита импулсите от енкодера и следи изминатия път от рейката на позиционния механизъм;

- измерване стойностите на тока и напрежението на синхронния генератор Iг и Uг и изчисляване на мощността му Pг = Iг.Uг.

- Създадена е възможност за въвеждане на данни от входно-изходния информационен дисплей, както и за извеждане на желаната информация. Изгледът на екрана се организира в софтуерния продукт SIMATIC WinCC flexible Micro.

Главната управляващата програма работи по следния алгоритъм:

- Определя се скоростта на празен ход ω_0 съобразно зададената честота:

(7) $$\omega_0 = \frac{f_{вых}}{f_N} \cdot \frac{\pi \cdot n_{0N}}{30}$$

- Изчислява се съпротивителният момент:

(8) $$M_C = \frac{P_г}{\omega} = \frac{U_г I_г}{\omega}$$

- Определя се скоростта в зависимост от статичното натоварване:

(9) $$\omega = \omega_0 \left(1 - \frac{\Delta\omega_{CN}}{\omega_0} \cdot \frac{M_C}{M_N}\right),$$

където M_N – номинален момент на двигателя;

$\Delta\omega_{CN} = \omega_{0N} - \omega_N$ – номинален статичен спад на скоростта (при f = 50Hz);

- Определят се необходимото време за спиране и спирачният път:

(10) $$t_{сп} = (RampDownTime) \cdot \frac{f}{f_{max}}$$

(11) $$S_{сп} = V_o \cdot t_{сп} + \frac{a \cdot t_{сп}^2}{2} = \rho \cdot \omega \cdot t_{сп} + \frac{a \cdot t_{сп}^2}{2},$$

където ρ = v / ω е радиус на привеждане на механичната предавка, а ускорението *a* може да се изчисли чрез изменението на скоростта за два последователни цикъла T на изпълнение на управляващата програма:

(12) $a = \Delta V/\Delta t = \Delta V/T$

- Сравнява се изминатия до момента път S с разликата между зададеното разстояние и изчисления спирачен път:

(12) S = Sзад – Sсп,

като по този начин се следи за момента, при който трябва да се подаде сигнал за преминаване към ниска установяваща скорост и при достигането й – сигнал за спиране.

Лабораторното упражнение се провежда в следната последователност:

1. Чрез TP177 micro Touch Panel се задават Sзад (с положителен или отрицателен знак), Vo, Vy, *Ramp-up time* (P1120 – време за ускорение от 0 до fmax), *Ramp-down time* (P1121 – време за спиране от fmax до 0), типът на управление на асинхронния двигател (P1300) – линейна (U/f=const), квадратична (U/f^2=const) или друга U/f характеристика или векторно управление.
2. Провеждат се няколко измервания на времето на цикъла при изключена система за натоварване на двигателя, като се отчита грешката при спиране.
3. Включва се захранването на системата за натоварване и се провеждат няколко измервания на времето на цикъла при различен съпротивителен момент, като се отчита грешката при спиране.
4. Изчисляват се средната стойност на $T_Ц$ и производителността П по формула (2).
5. Задава се нова стойност на Vo и се провеждат измерванията по т. 2-4.

След многократно изменение на зададената стойност на Vo се построяват зависимостите $T_{Цср}$ = f(Vo) и П = f(Vo) при Vy = const. и Sзад = const. (фиг. 3).

По аналогичен начин могат да бъдат построени и зависимостите:

$T_{Цср}$ = f(Vy) и П = f(Vy) при Vo = const. и Sзад = const.

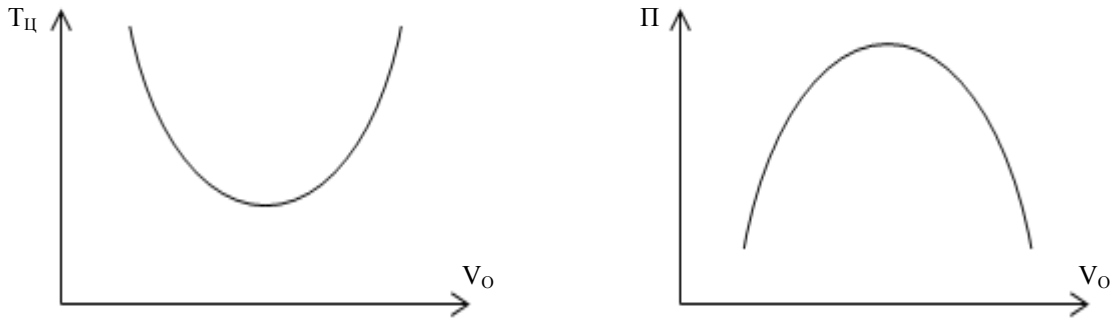
Чрез задаване на други стойности на Sзад могат да се получат фамилия характеристики и да се установи зависимостта на оптималната скорост от големината на зададеното разстояние.

Възможно е да се проведат и изследвания за грешката на позициониране:

ΔS = f(Mc) при Vo = const. и Vy = const.

ΔS = f(Vo) при Mc = const. и Vy = const

ΔS = f(Vy) при Mc = const. и Vo = const



Фиг. 3. Зависимост на средната продължителност на цикъла и на производителността от скоростта

ЛИТЕРАТУРА

[1] Йорданов С., Автоматизация на производствените механизми, Техника, София, 2003.
[2] SIMATIC S7-200 - Programmable Controller, System Manual, Siemens, 2008.
[3] SINAMICS G120 - Function Manual, Siemens, 2007.
[4] Closed-Loop Positioning Control with standard Drives, Siemens, 2008.
[5] Йорданов С., Р. Райнов, Ръководство за лабораторни упражнения по "Автоматизация на производствените механизми", София, ВМЕИ"В.И.Ленин", 1989

EXAMINATION OF POSITIONING SYSTEMS – LABORATORY SIMULATOR

Vasil Dimitrov

Todor Kableshkov University of Transport
BULGARIA

Key words: *indirect identification, positioning systems, PLC.*
Abstract**:** *The fast industrial progress set up higher requirements of education quality. In this paper examinations of a contemporary power drive of positioning system are given. There is a modern laboratory simulator that gives possibilities of student's practical training in many terms of reference. It includes an energy-saving induction motor, controlled by a frequency converter Sinamics G120. A synchronous generator and resistors realize the load of the motor. A PLC Simatic S7-200 supplements the simulator and can be used for control and optimization both of the drive and the positioning system on a predetermined criterion. The contemporary positioning systems require efficient resolves the problem of the indirect identification of the disturbances in case of fast running processes. The indirect identification takes into consideration the change of controlled parameters as a result of a disturbance. In this laboratory simulator, a voltage sensor and a current sensors are mounted in the generator circuit and connected to the PLC. The Simatic S7-200 holds possibilities of collaboration with these sensors using analog inputs. Therefore, the generator power can be easily determinated. After the measuring of the controlled parameters (generator voltage and current and motor speed measured by the encoder) and performing the necessary calculations torque can be uniquely determined. Using the features of the PLC many optimization problems, both in terms of positioning accuracy and productiveness, and the study of frequency controlled asynchronous drives in a predetermined criterion could be resolved.*