

## **МЕТОДОЛОГИЯ ЗА ПОВИШАВАНЕ ТОЧНОСТТА НА ИЗМЕРВАНЕТО НА СКОРОСТ С ТАХОГЕНЕРАТОРИ**

**Васил Димитров**  
[vdimitroff@abv.bg](mailto:vdimitroff@abv.bg)

*Висше транспортно училище “Тодор Каблешков”  
1574, София, ул. „Гео Милев“ № 158  
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** системи за автоматично управление, тахогенератори, методика за изпитания*

***Резюме:** Тахогенератори от различни видове намират приложение в много системи за автоматичен контрол и регулиране на скорост. Недостатък на тези устройства е нелинейната зависимост на изходното напрежение от скоростта. В доклада е предложена методика за изследване на тахогенератори и линеаризиране на входно-изходната характеристика, с което да се определи оптимална стойност на коефициента на преобразуване и да се минимизира грешката при измерването на скоростта. Проведени са изпитания на синхронен тахогенератор, при който освен промяна на изходното напрежение се наблюдава и изменение на честотата в съответствие със скоростта на въртене. Показани са получените характеристики и са сравнени с номиналните. Определени са коригираните коефициенти на преобразуване по напрежение и честота, с които реалните характеристики на тахогенератора се доближават максимално към линейна характеристика, заложена в управляващото устройство. По този начин е проведена експериментална верификация на разработената методика.*

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Тахогенератори намират приложение в много системи за измерване и автоматично регулиране на скорост. Това са устройства, които преобразуват скоростта на въртене в електрически сигнал – постоянно или променливо напрежение. Използват се за въвеждане на обратна връзка с цел стабилизация на зададена скорост, за индиректно измерване (чрез включен към тях волтметър) и др. в много електрозадвижвания в промишлеността и транспорта [1-3].

Постояннотоковите тахогенератори могат да бъдат с възбудителна намотка или с постоянни магнити. Предимството им е, че изходният сигнал може да се използва в аналогови системи за автоматично управление без необходимостта от преобразуване. По този начин са реализирани различни схеми, в които сигналът от обратната връзка се сравнява със заданието и в зависимост от получената разлика се изработва управляващото въздействие [1, 2].

Променливотоковите тахогенератори са синхронни и асинхронни. Най-същественният недостатък на всички тези устройства е нелинейната зависимост на

изходното напрежение от скоростта, дължаща се на увеличаването на загубите (на пада на напрежение) в тахогенератора при нарастване на скоростта му на въртене. В редица схеми тези загуби се намаляват, като във веригата се включват допълнителни резистори с голямо съпротивление [2].

От друга страна, съвременните управляващи устройства изискват висока точност и бързодействие на датчиците, включени в системите за управление. От тях се изисква да осигуряват ниски стойности на грешката от преобразуване в необходимия диапазон на изменение на скоростта и да имат линейна входно-изходна характеристика без хистерезис [2-4]. Това много често налага замяната на тахогенераторите с енкодери, които все повече навлизат в съвременните системи за автоматично управление на скоростта. В доклада е предложен компромисен вариант, чрез който биха могли да се използват съществуващите в схемата тахогенератори, но да се повиши точността на измерването на скоростта чрез определяне на оптимална стойност на коефициента на преобразуване, която да бъде заложена в управляващото устройство.

Разработена е методика за изследване на тахогенератори и линеаризиране на входно-изходната характеристика, с което да се минимизира грешката при измерването на скоростта.

### ЛАБОРАТОРНА БАЗА ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА

Проведени са изпитания на синхронен тахогенератор с постоянни магнети, при който освен промяна на стойността на изходното напрежение  $U$  се наблюдава и изменение на честотата  $f$  в съответствие със скоростта на въртене [1, 5].

За провеждане на изследванията се използва стендът, показан на фиг. 1. Постояннотоков двигател (ДПТ) се захранва с регулируем токоизправител, като напрежението, подавано към двигателя, се изменя плавно в диапазона 0-25 V. На вала чрез съединител е монтиран синхронният тахогенератор. Необходимите технически данни за устройствата са следните:

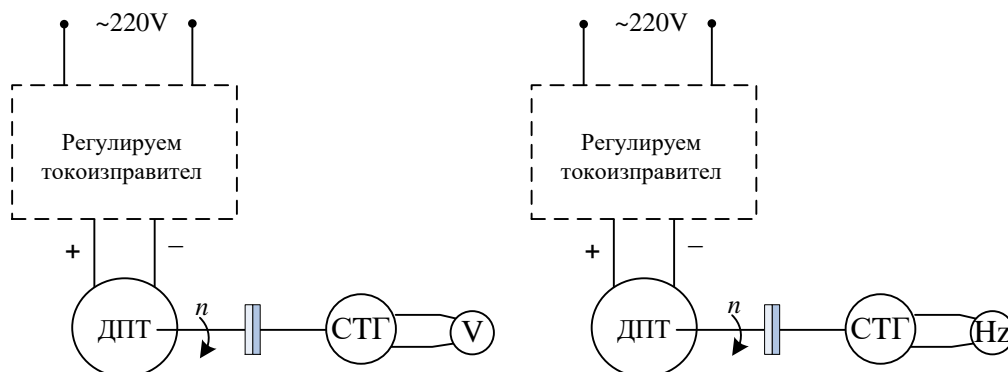
*Постояннотоков двигател:*

$U_n = 25 \text{ V DC}$ ;  $n_n = 1500 \text{ rpm}$ ;

*Синхронен тахогенератор:*

$n_n = 1500 \text{ rpm}$ ;  $U_{TGn} = 60 \text{ V AC}$ ;  $f_{TGn} = 75 \text{ Hz}$ .

Функционалните зависимости на изходните величини  $U$  или  $f$  от входната величина  $n$  представляват статичните характеристики на синхронния тахогенератор  $U=f(n)$  и  $f=f(n)$ . Желателно е те да бъдат линейни и да не притежават хистерезис (при наличие на хистерезис изходната величина не е еднозначно определена от входната, а зависи от посоката на изменение и има два клона – при увеличаване и намаляване на скоростта  $n$ ). За всяка стойност на  $n$  разликата между двата клона на характеристиката определя грешка на тахогенератора.



Фиг. 1 Схема на лабораторен стенд за изследване на синхронен тахогенератор

Често тази нееднозначност се премахва чрез приемане на една осреднена характеристика (номинална), а за намаляване на допусканата при това грешка се поставя изискването за стесняване на хистерезиса.

От линейната (работната) област на осреднената характеристика се определя номиналният коефициент на преобразуване на тахогенератора (съобразно обявените данни на тахогенератора.

Следователно номиналният коефициент на преобразуване по напрежение е:

$$K_{U_n} = U_{TGn} / n_n = 0,04 \text{ V/rpm.}$$

Номиналният коефициент на преобразуване по честота е:

$$K_{f_n} = f_{TGn} / n_n = 0,05 \text{ Hz/rpm.}$$

При изпитанията се използват следните измервателни уреди:

- Mastech MS8226 DMM – прецизен цифров мултиметр с клас на точност 0,5 при измерване на променливо напрежение и 0,2 при измерване на честота.

- Digital tachometer DT-2234A (photo type) – тахометър с клас на точност 0,05 за измерване на скоростта (чрез специален белег на съединителя).

## МЕТОДИКА ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА

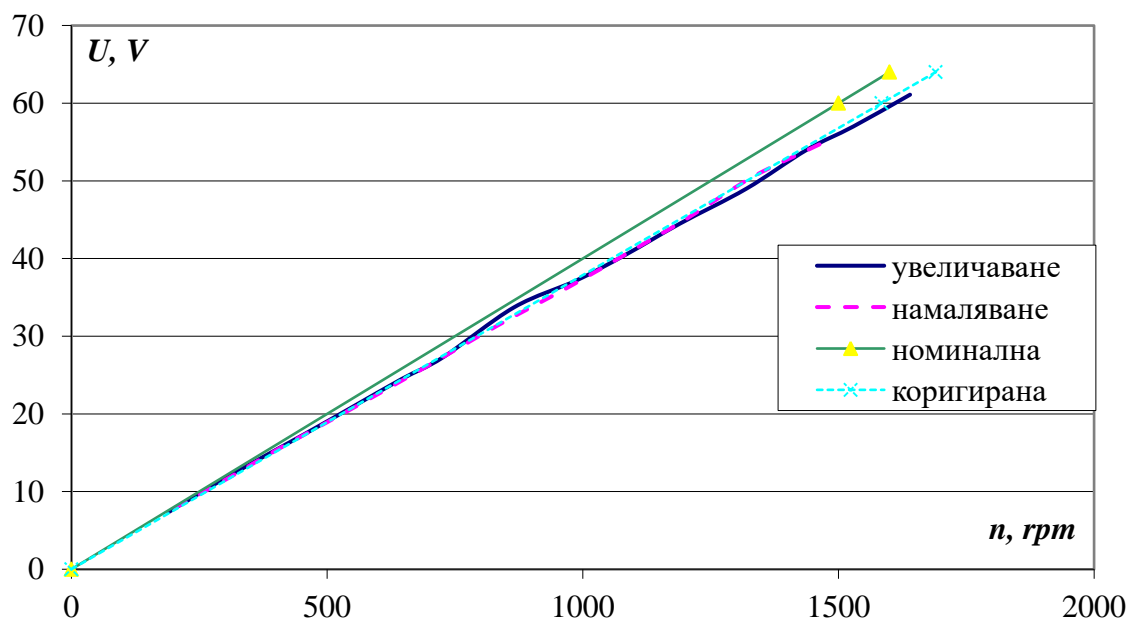
При провеждане на изпитанията първоначално се снемат входно-изходните характеристики на тахогенератора  $U = f(n)$  и  $f = f(n)$  в двете посоки на изменение на скоростта. За целта се свързват последователно двете схеми от фиг. 1 (в случая се използва един и същ мултиметр за измерването на напрежението и честотата. При наличие на два уреда с достатъчно висок клас на точност е възможно симултантно провеждане на експеримента).

*Резултатите от изпитанията се обработват по следния алгоритъм [4]:*

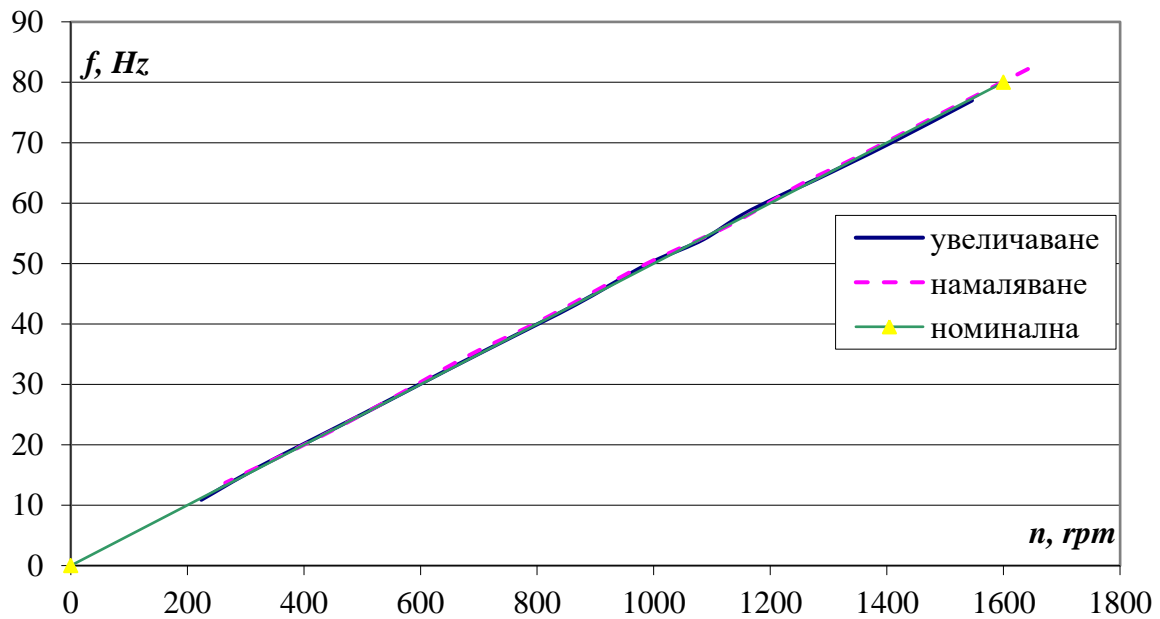
1. По данните, получени при измерванията, се построяват реалните входно-изходни характеристики, както и номиналните (фиг. 2 и 3).

От графиките на фиг. 2 се вижда, че хистерезисът на реалните характеристики  $U = f(n)$  е незначителен, но ясно проличава нелинейността им – с увеличаване на скоростта нараства отклонението от номиналната характеристика.

При характеристиките  $f = f(n)$  отклонението е значително по-малко (фиг. 3). Следователно използването на честотата като изходна величина води до съществено повишаване на точността при измерването.



Фиг. 2 Характеристики  $U = f(n)$  на синхронния тахогенератор



Фиг. 3 Характеристики  $f = f(n)$  на синхронния тахогенератор

2. Изчисляват се измерените стойности на скоростта съобразно номиналните коефициенти на преобразуване:

$$(1) \quad n_{mes} = \frac{U}{K_{Un}}; n_{mes} = \frac{f}{K_{fn}}$$

3. Изчисляват се коефициентите на преобразуване за всяко измерване:

$$(2) \quad K_{Ui} = \frac{U_i}{n_i}; K_{fi} = \frac{f_i}{n_i}, \quad i = 1 \dots m,$$

където  $m$  е броят на измерванията.

4. Изчисляват се средно аритметичните стойности на коефициентите:

$$(3) \quad K_{Ucp} = \frac{\sum_{i=1}^m K_{Ui}}{m}; K_{fcp} = \frac{\sum_{i=1}^m K_{fi}}{m}$$

5. Определят се изчислените коригирани стойности на скоростта съобразно средно аритметичните коефициенти на преобразуване:

$$(4) \quad n_{corr\_i} = \frac{U_i}{K_{Ucp}}; n_{corr\_i} = \frac{f_i}{K_{fcp}}$$

6. Построяват се коригираните характеристики (съобразно коригирания коефициент на преобразуване – вж. фиг. 2).

7. За всяко измерване се пресмятат абсолютната ( $\epsilon_{abs.}$ ), относителната ( $\epsilon_{rel.}$ ), и приведената ( $\epsilon_{red.}$ ) грешка спрямо измерените и коригираните стойности на контролираните величини:

$$(5) \quad \epsilon_{abs} = n - n_{act}; \epsilon_{rel} = \frac{\epsilon_{abs.}}{n_{act}}; \epsilon_{red} = \frac{\epsilon_{abs.}}{n_n},$$

където  $n$  е измерената стойност по (1), съответно - изчислената стойност по (4),  $n_{act}$  – действителната скорост, измерена с тахометъра.

Изчисляват се средните стойности на всички грешки, като резултатите са обобщени в табл. 1 и 2.

8. Сравняват се грешките за измерените и коригираните стойности на скоростта и се определя оптималната стойност на коефициентите на преобразуване.

**Таблица 1 Изследване на синхронен тахогенератор по напрежение**

$K_{Ucp}$ , V/rpm	$\epsilon_{abs.}$ mes.	$\epsilon_{abs.}$ corr.	$\epsilon_{rel.}$ mes.	$\epsilon_{rel.}$ corr.	$\epsilon_{red.}$ mes.	$\epsilon_{red.}$ corr.
<b>0,037868</b>	216,68 rpm	10,429 rpm	24,26%	1,32%	14,45%	<b>0,70%</b>

**Таблица 2 Изследване на синхронен тахогенератор по честота**

$K_{fcp}$ , Hz/rpm	$\epsilon_{abs.}$ mes.	$\epsilon_{abs.}$ corr.	$\epsilon_{rel.}$ mes.	$\epsilon_{rel.}$ corr.	$\epsilon_{red.}$ mes.	$\epsilon_{red.}$ corr.
<b>0,050176</b>	5,14 rpm	4,802 rpm	0,73%	0,68%	0,34%	<b>0,32%</b>

Видно е, че коригираната характеристика по напрежение се припокрива в голяма степен с действителните характеристики (вж. фиг. 2). Използването на коригирания коефициент на преобразуване води до значително намаляване на грешката от измерването: 14,45% при използване на номиналния коефициент и само 0,7% - при коригирания.

Грешката от измерването на скоростта с коригирания коефициент на преобразуване по честотата също намалява, макар и незначително.

По този начин разработената методика на изследване е верифицирана.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В настоящия доклад са разгледани тахогенераторите като датчици на скорост, намерили приложение в редица системи за управление в промишлеността и транспорта. От получените изследвания става ясно, че използването на честотата като изходна величина води до значително повишаване на точността при измерването, тъй като реалната характеристика е линейна и почти съвпада с номиналната, не се забелязва хистерезис. В повечето схеми, обаче, това би наложило необходимостта от допълнително включване на преобразувател „Честота-напрежение”.

Разработена е методика за изследването на тахогенератори с цел уточняване на коефициента на преобразуване и оптимална линеаризация на характеристиките. По този начин се свежда до минимум грешката при измерването на скоростта. След провеждане на необходимите изпитания се определя оптималната стойност на коефициента, която трябва да бъде заложена в управляващото устройство.

Чрез проведените изследвания е направена експериментална верификация на предложената методика – грешката от измерването значително намалява.

## **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] Българанов Л., И. Миленов, Г. Павлов, Ч. Джамбазки, Електрозадвигване, С., 2009
- [2] Михов, М., Системи за управление на електрозадвигванията, София, ТУ, 2007
- [3] Исаев Я., Л. Секулов, Проектиране и изработване на електрозадвигване за едно-местна триколка, Н. сп. “Механика, Транспорт, Комуникации”, ISSN 1312-3823, том 14, брой 3/2, 2016 г., статия № 1390
- [4] Димитров В., Методология за изследване на сензори, специфични за съвременни електрически транспортни средства, н. сп. “Механика, Транспорт, Комуникации”, ISSN 1312-3823, том 12, брой 1, 2014 г., статия № 0933
- [5] Секулов Л., Г. Павлов, Я. Исаев, Р. Стоицев, Проектиране и изграждане на стенд за микропроцесорно управление на трифазен безчетков синхронен двигател с постоянни магнити, Н. сп. “Механика, Транспорт, Комуникации”, ISSN 1312-3823, том 14, брой 3/2, 2016 г., статия № 1387

# METHODOLOGY OF INCREASING THE ACCURACY OF SPEED MEASURING BY TACHOGENERATORS

Vasil Dimitrov  
vdimitroff@abv.bg

*Todor Kableshkov University of Transport – Sofia  
158 Geo Milev Str., Sofia 1574, BULGARIA*

**Key words:** *Automatic Control Systems, Tachogenerators, Methodology of Testing*

**Abstract:** *Various types of tachogenerators are used in many automatic speed regulation and control systems. The disadvantage of these devices is the non-linear dependence of the output voltage on the speed.*

*In this paper, a methodology for testing of tachogenerators and linearization of the Input / Output characteristic is proposed. Its goal is to determine the optimal value of the conversion factor and to minimize the speed measurement error. Tests of a synchronous tachogenerator have been performed – in addition to varying the output voltage, a frequency variation according to the rotational speed is also observed. The resulting I/O characteristics are shown and compared to the nominal (rated) ones. The corrected voltage and frequency conversion factors have been determined. Thus a linear characteristic (embedded in the control device) is maximum close to the real characteristics of the tachogenerator. Thus an experimental verification of the developed methodology has been performed.*