

## Определяне на диапазона на препокриване на хидростатични трансмисии със степенно регулиране на оборотите на електрогенераторите

Илчо Ангелов, Петко Кьоргогов

*Determining the range of overlap hydrostatic transmission: This article examined the issue of determining the areas of overlap and determining the control signals to hydraulic motors providing drive of the generators. Depending on the variation of wind speed and hence the speed of the propeller is amended the flow of the pump. In order to improve the operation of generators and the same work in the optimum mode of operation and increase the operating range of wind made preliminary studies on the work of a particular hydrostatic transmission*

**Key words:** Hydrostatic Transmission, Wind Turbine, Wind Electro Generators.

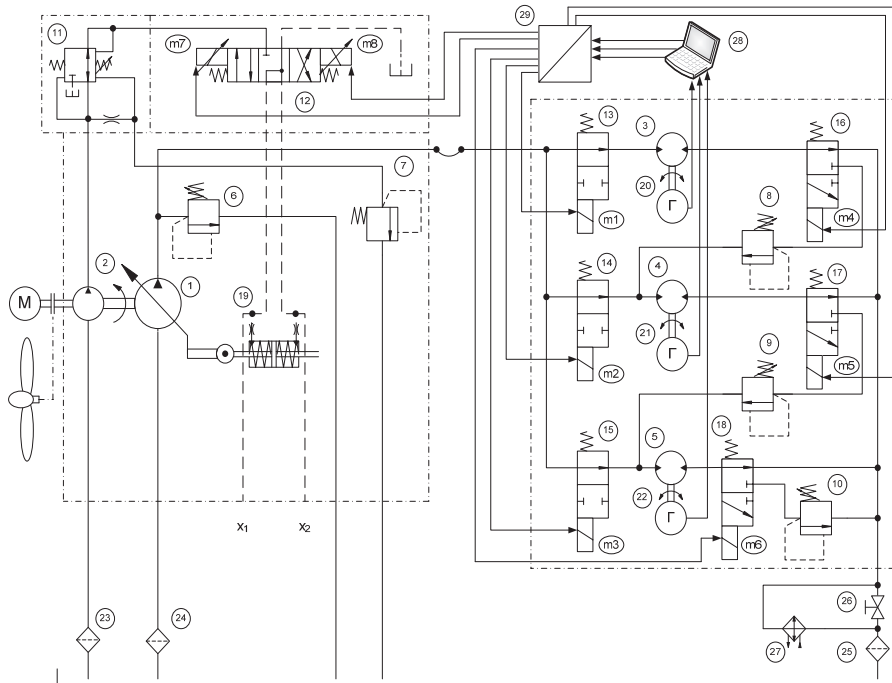
### Въведение

Едно от основните предимства при приложението на хидростатичните трансмисии във ветрогенераторните съоръжения е възможността електрогенераторите да се задвижват с относително постоянна честота на въртене независимо от промяната на входящите обороти зависещи от скоростта на вятъра. По този начин е възможно да се спестят средства по изграждането на ветрогенераторните съоръжения, поради възможността да се използват постоянно токови електрогенератори. Традиционно предаването на енергията от витлото към електрогенератора се извършва чрез механичен мултипликатор с голямо предавателно отношение ( $i=150+800$ ). Това обаче е процес свързан с допълнителни загуби на енергия и влошава общия КПД на ветрогенераторната система. Използването на хидростатични трансмисии особено при по маломощните системи е едно алтернативно решение, което съчетава възможността за минимални загуби при предаване на енергията при едни оптимални обороти към електрогенератора, както и възможността на системата да работи в ограничен режим т.е. спирален режим на работа. Едно особено предимство е възможността както за пропорционално управление на изходящите обороти така и за тяхното стъпално регулиране чрез последователно или паралелно включване на хидродвигатели [2,3]. В настоящата статия е разгледан въпроса с определяне на зоните на припокриване и определяне на управляващите сигнали за хидродвигателите, задвижващи електрогенераторите. В зависимост от изменение на скоростта на вятъра и съответно от оборотите на витлото се променя и дебитът на помпата. С цел да се подобри работата на електрогенераторите и същите да работят в оптимален режим на работа и също така да се увеличи работния диапазон на ветрогенератора са направени предварителни изследвания за работата на конкретна хидростатична трансмисия предназначена за стендови изпитания.

### Изложение

Целта на разработвания от нас стенд е да изследваме приложенията на хидростатичните трансмисии в изграждането на ветрогенераторни съоръжения. За изпълнението на тази цел сме избрали концепцията с една регулируема бутална помпа 1 и три нерегулируеми аксиално-бутални мотора 3, 4, 5 показани на Фиг.1. Чрез промяна на работния обем на помпата 1 сме в състояние да симулираме промяната на скоростта на вятъра, респективно промяната на оборотите на витлото. По този начин можем да симулираме и опитно да изследваме плавната или внезапна промяна на вятъра. Също така да се симулира и работата на хидростатична трансмисия за дадена конкретна задача при наличието на реални данни на изменението на вятърът за даден конкретен регион. От друга страна с

превключване на хидромоторите 3, 4, 5 имаме възможност винаги да задвижваме електрогенераторите 20, 21 и 22 със постоянни обороти съответващи на синхронните честоти на въртене. С така избраната от нас концепция сме в състояние да изследваме всички процеси в целия работен диапазон на ветрогенератора 4.



**Фиг.1** Хидравлична схема на експериментален стенд за изпитване на хидростатична трансмисия за ветрогенераторни устройства.

При предварителните изследвания са разгледани два варианта на синхронни скорости:  $n=1000 \text{ min}^{-1}$  и  $n=1500 \text{ min}^{-1}$ , съответно показани на Фиг.2. По обратен ред са определени и необходимите дебити необходими на хидромоторите да се въртят със синхронни обороти. За първоначалните изследвания е прието, че управляващите сигнали към електрохидравличните разпределители 13, 14 и 15 се подават при изменение на дебита с до 10% от съответния дебит необходим на хидромотора да се върти със синхронни обороти.

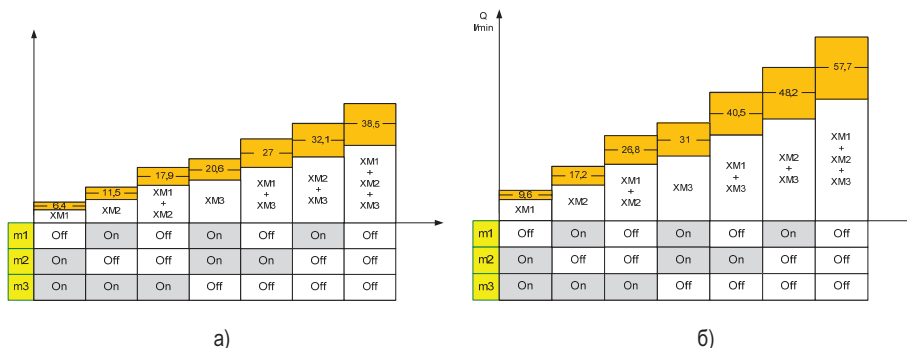
Изборът на оптимални параметри като - обороти; въртящ момент и максимален КПД на витлото на ветрогенератора е от особена важност за правилното оразмеряване на ХСТ.

Изчисляване на параметрите за избор на хидравлична помпа.

Мощността на ротора на ветрогенератора  $P$  се определя по формулата [3]:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1)$$

където:  $\rho$  - плътност на въздуха [ $\text{kg/m}^3$ ];  $A$  - площ на диска на ротора [ $\text{m}^2$ ];  $v$  - скорост на вятъра, далеч пред равнината на ротора [ $\text{m/s}$ ].



Фиг.2 Графика, показваща зоните на прекриване и необходимите дебити при синхронни обороти: а)  $n=1000 \text{ min}^{-1}$ ; б)  $n=1500 \text{ min}^{-1}$

Максималното налягане  $P_{\text{max}}$  на хидростатичната трансмисия зависи от максималния въртящ момент  $M_{\text{max}}$  на ротора създаден от вятъра:

$$P_{\text{max}} = \frac{2\pi n_{\text{max}} M_{\text{max}}}{V_{\text{П}}} \quad (2)$$

където:  $M_{\text{max}}$  – максимален въртящ момент,  $Nm$ ,  $V_{\text{П}}$  – работен обем на помпата,  $\text{cm}^3$ ;  $n_{\text{max}}$  – механичен КПД,

$$Q_{\text{П,max}} = \frac{P_{\text{П,П}}}{P_{\text{max}}} = \frac{6A\omega^2 \eta_{\text{П,П}}}{2P_{\text{max}}} \quad (3)$$

Работното налягане на такива системи не трябва да надвишава 250 bar [4]. Това се прави с цел системата да има запас на мощност и да може да издържа на пикови моментни натоварвания и аварийни режими. Нормално елементите в хидростатичната трансмисия се избират да работят до 350 bar максимално налягане.

Максималният необходим дебит на помпата се определя по формулата :

$$Q_{\text{П,max}} = \frac{V_{\text{П}} \omega_{\text{П,max}} \eta_{\text{П,П}}}{2\pi} \quad (4)$$

където:  $Q_{\text{П,max}}$  – максимален дебит на помпата,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $\omega_{\text{П,max}}$  – ъглова скорост на ротора,  $\text{rad/s}$ ;  $V_{\text{П}}$  – работен обем на помпата,  $\text{m}^3$ ;  $\eta_{\text{П,П}}$  – обемна КПД на помпата,

$$V_{\text{П,max}} \geq \frac{2\pi Q_{\text{П,max}}}{\omega_{\text{П,max}}} \quad (5)$$

$$V_{\text{П1}} = \frac{2}{3} V_{\text{П,max}} \quad (6)$$

$$V_{\text{П2}} = \frac{1}{3} V_{\text{П,max}} \quad (7)$$

където:  $V_{\text{П1}}$ ,  $V_{\text{П2}}$  – съответно са работни обеми на голямата и малката помпа

При определяне на дебитите на голямата и малката помпа на първо приближение се приема голямата помпа да е с дебит 70% от максималния общ дебит, съответно малката е с 30% от максималния дебит. При такова съотношение на работните обеми на помпите опитният стенд дава възможност за обхващане на широк работен диапазон по отношение на скоростта на вятъра. Оборотите на

ротора на ветрогенератори до 20 kW варират в границите от 150 до 300  $\text{min}^{-1}$ , в зависимост от типа на ветрогенератора [5].

Определяне на дебита на хидромоторите:

$$Q_{\text{П, макс}} = Q_{\text{Д, макс}} = \frac{V_{\text{Д}} \cdot Q_{\text{Д, макс}}}{2\pi \eta_{\text{ВД}}} \quad (8)$$

където:  $Q_{\text{Д, макс}}$  – максимален дебит на хидродвигателите [ $\text{m}^3/\text{s}$ ];  $V_{\text{Д}}$  – работен обем на хидромотора [ $\text{m}^3$ ];  $\eta_{\text{ВД}}$  - обемн К.П.Д. на хидромотора

След подбиране на съответните помпи и хидромотори се прави преизчисляване на характеристиките на ХСТ като се използват и конкретни данни за обемния и пълния КПД в съответните режими на работа. Това позволява най-точно и всеобхватно да се предвиди какви са параметрите на съответните ХСТ с оглед на оптимална настройка на регулиращите им хидравлични устройства и адаптацията им за работа при съответни условия на експлоатация на тези съоръжения.

За реализацията на така описаната стендова установка са подбрани хидравлични помпи, хидродвигатели и допълнителни разпределителни устройства и предпазно – преливни клапани показани в Таблица 1.

Таблица 1

| № | Вид на хидравличното устройство | Тип   | Основни технически характеристики |  |   |  |
|---|---------------------------------|-------|-----------------------------------|--|---|--|
|   |                                 |       | Работен обем, $[\text{cm}^3]$     | Минимални обороти, $[\text{min}^{-1}]$ | Максимални обороти, $[\text{min}^{-1}]$ | Номинално работно налягане, $[\text{MPa}]$ |
| 1 | Хидравлична помпа               | A4VG  | 56                                | 1000                                   | 3500                                    | 30   |
| 2 | Хидродвигател I                 | A2FM  | 8                                 | 150                                    | 3500                                    | 30   |
| 3 | Хидродвигател II                | A2FM  | 16                                | 150                                    | 3500                                    | 30   |
| 4 | Хидродвигател III               | A2FM  | 24                                | 150                                    | 3500                                    | 30   |
| 5 | Разпределители                  | RX06  | 80 l/min                          | ---                                    | ---                                     | 30   |
| 6 | Предпазно-преливни клапан       | DBW-6 | 120 l/min                         | ---                                    | ---                                     | 30   |

### Заклучение

1. С помощта на предварителните изчисления и зоните на припокриване е възможно да се определят на първо приближение и моментите в който да се подават управляващите сигнали към електроразпределителите.

2. В областта на ниските дебита, респективно бавни скорости нямаме пълно припокриване на дебитите, за да се постигнат необходимите синхронни обороти е необходимо да се увеличи припокриването чрез настройка на управляващия програмен продукт на  $\pm 15\%$ .

3. От направените предварителни изчисления се вижда, че при така подбрани хидромотори при ниска скорост на вятъра нямаме пълно припокриване, което налага усъвършенстване на хидравличната система и включване на хидроакумулаторни устройства, както и допълнителни съответни изследвания на системата при съвместната им работа с хидродвигателите и електрогенераторите.

### Литература

- [1]. С. Лазаров, И. Ангелов, М. Матеев, Ц. Цветанов 'Хидростатична трансмисия на рудничен локомотив', Изд. „Земя”, сп. „Минно дело и геология”, кн.3, с. 19-22, 1997.
- [2]. И. Ангелов, П. Кьоргогов 'Експериментална установка за изследване на хидростатична трансмисия за ветрогенератори до 20 kW', Научна конференция ЕМФ 2011 Сборник Доклади, Хидроаеродинамика и хидравлични машини, Том 2,

с. 118-123, 2012.г

- [3]. И.Ангелов, П.Кьоргогов 'Алгоритъм за изследване на хидростатична трансмисия за ветрогенераторни съоръжения', Машинни науки-Сливен 2012г
- [4]. И. Ангелов, 'Хидростатична трансмисия за задвижване на ранжирна инсталация' Научна конференция ЕМФ' 2000 Сборник Доклади, Хидроаеродинамика и хидравлична машини, Том 3, с. 77-83, 2000
- [5]. Д. Димитров, В. Лазаров, „Възобновяеми източници на енергия“, Изд. „Технически Университет – София“, 1999
- [6]. О.М. Бабаев, Л.Н. Игнатов, Е.С. Кисточкин и др. „Обемние гидромеханические передачи“, Машиностроение, Л.,1987
- [7]. Hydrostatic drive train in wind energy plants, Johannes Schmitz, Nils Vatheuer
- [8]. И.Ангелов, С.Лазаров, лекции и упражнения по дисциплината „Хидропредаватели, Технически Университет – София, 2011г.

**За контакти:**

Доц. д-р инж. Илчо Иванов Ангелов, Технически Университет – София, Катедра Хидроаеродинамика и Хидравлични машини, 0887857820, [ilangel@tu-sofia.bg](mailto:ilangel@tu-sofia.bg)

Маг. инж. Петко Иванов Кьоргогов, Технически Университет – София, Катедра Хидроаеродинамика и Хидравлични машини, 0884 879887, [petkokyorgogov@abv.bg](mailto:petkokyorgogov@abv.bg)

**Докладът е рецензиран.**