

## **АНАЛИЗ НА НАПРЕЖЕНОВИ ТРАНСФОРМАТОРИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИЯ НА ПОДСТАНЦИЯ 110/10 KV**

**Васил Димитров, Гюлек Неджиб**

[vdimitroff@abv.bg](mailto:vdimitroff@abv.bg)

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

***Ключови думи:** напреженови измервателни трансформатори, разпределителна мрежа СрН, електрически подстанции*

***Резюме:** В последните години се наблюдава значително повишаване на натовареността на съществуващата разпределителна мрежа „Средно напрежение“ в региона на подстанцията „Бояна“, което налага нейната модернизация, включително проверка на веригите за измерване и защита, функциониращи от изграждането на подстанцията през 1973 г. Целта на доклада е анализ на състоянието на експлоатираните напреженови трансформатори и вентилни отводи в енергийния обект и преценка за необходимостта от подмяната им по време на реконструкцията на подстанцията. Предложена е методика за избор на напреженови трансформатори, прилагането на която налага модернизация в следните аспекти: поради дългият експлоатационен срок и намалената сигурност на работа се предлага подмяна на съществуващите напреженови измервателни трансформатори ВТМ-10 за ЗРУ 10 kV с НК-12 (за трансформаторни присъединения) и НК-1-12 (за мерене на шини 10 kV). Тези трансформатори са изработени с шихтован магнитопровод от електротехническа стомана. На магнитопровода е навита намотка НН, а на нея е надяната първичната намотка ВН, съставена от отделни секции. Активната част е залята с компаунд от епоксидна смола с клас на изолация F.*

*Предложената методика може да се използва при проектиране и модернизация за всякакви уредби с напреженови измервателни трансформатори.*

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Електрическите подстанции (ПС) трябва да отговарят на редица изисквания, свързани с осигуряване дългосрочна и ефективна работа на прилежащите съоръжения, сигурно и надеждно хранване на потребителите с качествена енергия, минимални загуби.

Подстанция „Бояна“ е предназначена да снабдява с електрическа енергия предимно битови товари и е в редовна експлоатация повече от 45 г. Нивата на напрежение са 110/10 kV. След 2001 г. се констатира увеличено строителство в района, хранван от тази ПС. В тази връзка е наложително да се разработи вариант за реконструкция и модернизация на подстанцията, за да се обезпечи нормалното хранване и да се покрие енергийният дефицит [1, 2]. В доклада се предлага методика

за проверка и евентуална подмяна на напрежените измервателни трансформатори и на вентилните отводи.

### СТРУКТУРА НА ПОДСТАНЦИЯТА

Откритата разпределителна уредба (ОРУ) 110 kV е изпълнена в класическа конструктивна форма, захранва се през две въздушни електрически линии с диспечерски наименования „Резиденция” и „Боерица”. Монтирани са два силови трифазни двунамотъчни трансформатори тип ТМР 10 000 с група на свързване  $Y_0/d-11$ . Напрежението се регулира под товар посредством Янсенови регулатори. Вентилните отводи тип VA 102/10,2 и напрежените измервателни трансформатори тип НМО-110 са монтирани преди линейния разединител на блок линията. Уредбата е компанована едноредово.

Закритата разпределителна уредба (ЗРУ) 10 kV е изпълнена по схема с еднократно свързване на присъединенията към двойна шинна система - шинна система „А” е секционирана в две секции (четна и нечетна), а шинна система „Б” е обиколна. Фазите на шинната система са разположени в една хоризонтална равнина в горната част на килиите. Намотките 10 kV на двата силови трансформатора в подстанцията са заземени през устройства за изкуствен звезден център с активно съпротивление. По този начин се ограничават комутационните пренапрежения при земни съединения в разпределителна мрежа 10 kV и се осигурява селективното действие на релейните защиты. В компановките на различните линейни присъединения са монтирани напреженови измервателни трансформатори тип ВТМ 10 [3].

Условията, на които трябва да отговарят напрежените трансформатори и по които се извършва техният избор, са следните:

|  |  |
|--|--|
| Условие за ниво на електрическа изолация | $U_n \geq U_{\text{раб.н}}$  |
| Клас на точност                          | $N \leq N_n$   |
|  | ( $N_n \leq 0,5$ за електромери търговско и контролно мерене;<br>$N_n = 3P$ или $6P$ за релейни защиты); |
| Вторична номинална мощност               | $S_{2н} \geq S_2$  |

### НАПРЕЖЕНОВИ ТРАНСФОРМАТОРИ НА СТРАНА 110 KV

Използваните към момента напреженови измервателни трансформатори са за открит монтаж, тип **НМО-110** с обявени данни [4]:

|  |   |
|--|---|
| - номинално първично напрежение:   | $U_{1н} = 110:\sqrt{3} \text{ kV}, 50 \text{ Hz}; U_{1\text{max}} = 123 \text{ kV}$ |
| - коефициенти на трансформация (две намотки за целите на измерването и две намотки за целите на защитата): | $110:\sqrt{3} / 0,1:\sqrt{3}; 110:\sqrt{3} / 0,1 \text{ kV}$                        |
| - номинална вторична мощност:  | $S_{2н} = 300 \text{ VA}$   |
| - клас на точност:   | измервателни намотки - $N = 0,5$<br>намотки за защитите - $N = 3P$                  |

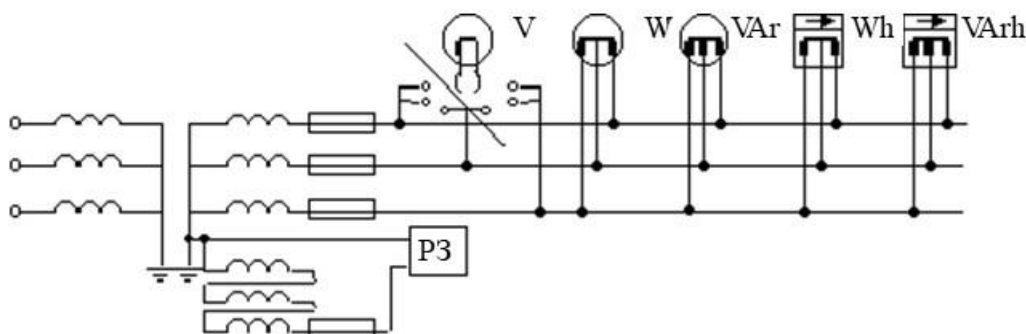
Условието за ниво на електрическа изолация е изпълнено, както и изискванията за клас на точност. Схемата е показана на фиг. 1, а данните за използваните измервателни уреди и тяхната мощност са систематизирани в Табл. 1. Вторична мощност за отделните фази е както следва:

$$(1) \quad \begin{aligned} S_{2A} &= 34,5 - 20 = 14,5 \text{ VA}; \\ S_{2B} &= 38 - 20 = 18 \text{ VA}; \\ S_{2C} &= 30,5 - 20 = 10,5 \text{ VA}. \end{aligned}$$

Следователно условието за съответствие по Вторична номинална мощност е изпълнено, срокът за експлоатация не е изтекъл.

За определяне на изчислително съпротивление на проводника се използва изразът:

$$(2) \quad R_{\text{пр.изч}} = \frac{\Delta U \cdot U_{2н}}{3 \cdot S_2} = \frac{0,5 \cdot 100}{3 \cdot 18} = 0,93 \Omega,$$



Фиг. 1. Схема на свързване напреженов трансформатор тип НМО-110

Таблица 1. Основни технически параметри на измервателни уреди към НМО-110

| Наименование         | Тип           | Бр. | Мощ. на една нам. | Натоварване на една фаза, W |    |      |
|----------------------|---------------|-----|-------------------|-----------------------------|----|------|
|                      |               |     |                   | A                           | B  | C    |
| Волтметър            | 1E52-B        | 1   | 8 W               | 4                           | 4  | -    |
| Ватметър             | ФДВА-2        | 1   | 2 W               | 1                           | 2  | 1    |
| Варметър             | ФДВР-2        | 1   | 2 W               | 2                           | 2  | 2    |
| Електромер акт. ен.  | ИЕАЗУ-3       | 1   | 5 W               | 2,5                         | 5  | 2,5  |
| Електромер реак. ен. | ИЕРЗУ-3       | 1   | 5 W               | 5                           | 5  | 5    |
| Релейна защита       | Дистанцион на | 1   | 20 W              | 20                          | 20 | 20   |
| Общо:                |               |     |                   | 34,5                        | 38 | 30,5 |

където  $\Delta U$  е допустима загуба на напрежението:

$\Delta U = 0,5\%$  - за електромери, по които се заплаща енергия.

$\Delta U = 1,5\%$  - за трансформатори към измервателни апарати.

$\Delta U = 3\%$  - за табла за защита и автоматика.

Използват се медни проводници със специфично съпротивление  $\rho_0 = 0,018 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ , като изчислителната дължина е  $l_{\text{изч.}} = 100 \text{ m}$ . Изчислителното сечение се определя по израза:

$$(3) \quad S_{\text{пр.изч}} = \frac{\rho_0 l_{\text{изч.}}}{R_{\text{пр.изч.}}} = \frac{0,018 \cdot 100}{0,93} = 1,93 \text{ mm}^2$$

Полученото сечение е закръглено до най-близкото стандартно, следователно  $S_{\text{пр.}} = 2,5 \text{ mm}^2$ .

Вентилните отводи се избират само по номинално напрежение, което трябва да съответства на работното, както следва:

$$U_{\text{ном}} = U_{\text{раб.ном.}} = 110 \text{ kV}$$

Избрани са вентилни отводи тип РСВ-110 kV [5].

## НАПРЕЖЕНОВИ ТРАНСФОРМАТОРИ ЗА ТРАНСФОРМАТОРНО ПРИСЪЕДИНЕНИЕ НА СТРАНА 10 KV

Използваните към момента напреженови измервателни трансформатори тип ВТМ-10 са с изтекъл срок на експлоатация и значително намалена сигурност на работа. Предложението е да се заменят с български напреженови трансформатори за монтаж в

закрити съоръжения, тип **НК-12**. Те отговарят на изискванията на БДС EN 60044-2, изработени са с шихтован магнитопровод от електротехническа стомана. На него е навита намотка НН, а на нея е надяната първичната намотка ВН, съставена от отделни секции. Активната част е залята с компаунд от епоксидна смола с клас на изолация F. По този начин се осигурява висока надеждност и дълъг срок на експлоатация.

Избраните напреженови трансформатори **НК-12** са със следните данни [6]:

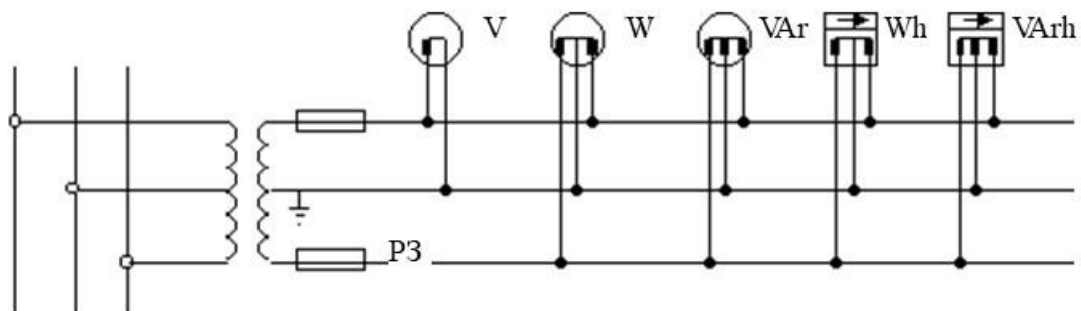
- номинално първично напрежение:  $U_{1н} = 10 \text{ kV}, 50 \text{ Hz}; U_{1\text{max}} = 12 \text{ kV}$
- коефициент на трансформация:  $10 / 0,1 \text{ kV}$
- клас на точност  $N = 0,5$
- номинална вторична мощност  $S_{2н} = 240 \text{ VA}$

Условието за ниво на електрическа изолация е изпълнено, както и изискванията за клас на точност.

Схемата е показана на фиг. 2, а данните за използваните измервателни уреди и тяхната мощност са систематизирани в Табл. 2. Видно е, че вторична мощност за отделните фази е:

$$S_{2a} = 14,5 \text{ VA}; S_{2b} = 18 \text{ VA}; S_{2c} = 10,5 \text{ VA}.$$

Следователно условието за съответствие по Вторична номинална мощност е изпълнено.



Фиг. 2. Схема на свързване на напреженов трансформатор тип НК-12

Таблица 2. Основни технически параметри на измервателни уреди към НК-12

| Наименование         | Тип     | Бр. | Мощ. на една нам. | Натоварване на една фаза, W |    |      |
|----------------------|---------|-----|-------------------|-----------------------------|----|------|
|                      |         |     |                   | a                           | b  | c    |
| Волтметър            | 1Е52-В  | 1   | 8 W               | 4                           | 4  | -    |
| Ватметър             | ФДВА-2  | 1   | 2 W               | 1                           | 2  | 1    |
| Варметър             | ФДВР-2  | 1   | 2 W               | 2                           | 2  | 2    |
| Електромер акт. ен.  | ИЕАЗУ-3 | 1   | 5 W               | 2,5                         | 5  | 2,5  |
| Електромер реак. ен. | ИЕРЗУ-3 | 1   | 5 W               | 5                           | 5  | 5    |
| Общо:                |         |     |                   | 14,5                        | 18 | 10,5 |

Изчислителното съпротивление на проводника е:

$$(4) \quad R_{\text{пр.изч}} = \frac{\Delta U \cdot U_{2н}}{3 \cdot S_2} = \frac{0,5 \cdot 100}{3 \cdot 18} = 0,93 \Omega,$$

където  $\Delta U$  е допустима загуба на напрежението:  $\Delta U = 0,5\%$ .

Използват се медни проводници, като изчислителната дължина е  $l_{\text{изч}} = 50 \text{ m}$ . Изчислителното сечение се определя по израза:

$$(5) \quad S_{\text{пр.изч}} = \frac{\rho_o \cdot l_{\text{изч}}}{R_{\text{пр.изч}}} = \frac{0,018 \cdot 50}{0,93} = 0,96 \text{ mm}^2$$

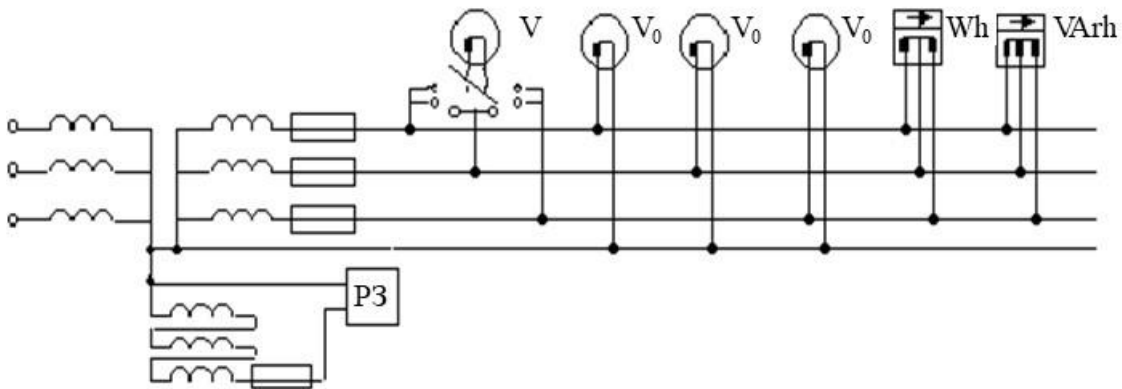
Избран е проводник с по-голямо сечение:  $S_{пр.} = 2,5 \text{ mm}^2$ .

### НАПРЕЖЕНОВИ ТРАНСФОРМАТОРИ ЗА МЕРЕНЕ НА ШИНИ 10 KV

Предложението е да се заменят монтираните в момента напрежени трансформатори тип ВТМ-10 с български напрежени трансформатори за монтаж в закрити съоръжения, тип **НК-І-12** със следните данни [6]:

- номинално първично напрежение:  $U_{1н} = 10\sqrt{3} \text{ kV}, 50 \text{ Hz}; U_{1max} = 12 \text{ kV}$
- коефициент на трансформация:  $10:\sqrt{3} / 0,1:\sqrt{3}; 10:\sqrt{3} / 0,1 \text{ kV}$
- клас на точност  $N = 0,5$
- номинална вторична мощност  $S_{2н} = 300 \text{ VA}$

Условието за ниво на електрическа изолация е изпълнено, както и изискванията за клас на точност. Схемата е показана на фиг. 3, а данните за използваните измервателни уреди и тяхната мощност са систематизирани в Табл. 3.



Фиг. 3. Схема на свързване на напрежен трансформатор тип НК-І-12

Таблица 3. Основни технически параметри на измервателни уреди към НК-І-12

| Наименование         | Тип     | Бр. | Мощ. на една нам. | Натоварване на една фаза, W |     |    |
|----------------------|---------|-----|-------------------|-----------------------------|-----|----|
|                      |         |     |                   | a                           | b   | c  |
| Волтметър            | 1Е52-В  | 1   | 8 W               | 12                          | 12  | 8  |
| Електромер акт. ен.  | ИЕАЗУ-3 | 1   | 5 W               | 25                          | 50  | 25 |
| Електромер реак. ен. | ИЕРЗУ-3 | 1   | 5 W               | 50                          | 50  | 50 |
| Общо:                |         |     |                   | 87                          | 112 | 83 |

Видно от Табл. 3 е, че вторична мощност за отделните фази е:

$$S_{2a} = 87 \text{ VA}; S_{2b} = 112 \text{ VA}; S_{2c} = 83 \text{ VA}.$$

Следователно условието за съответствие по Вторична номинална мощност е изпълнено.

Изчислителното съпротивление на проводника е:

$$(6) \quad R_{пр.изч} = \frac{\Delta U \cdot U_{2н}}{3 \cdot S_2} = \frac{0,5 \cdot 100}{3 \cdot 112} = 0,15 \Omega,$$

където  $\Delta U$  е допустима загуба на напрежението:  $\Delta U = 0,5\%$ .

Използват се медни проводници с изчислителна дължина  $l_{изч.} = 50 \text{ m}$ . Изчислителното сечение се определя по изказа:

$$(7) \quad S_{пр.изч} = \frac{\rho_0 \cdot l_{изч.}}{R_{пр.изч.}} = \frac{0,018 \cdot 50}{0,15} = 6 \text{ mm}^2$$

Избран е проводник със стандартно сечение:  $S_{пр.} = 6 \text{ mm}^2$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящия доклад е разгледана методика за анализ и преценка на необходимостта от модернизация на напрежените измервателни трансформатори за подстанция „Бояна“. Дългият експлоатационен срок и намалената сигурност на работа налагат подмяна на съществуващите до момента ВТМ-10.

Предложената методика може да се използва при проектиране и модернизация не само на подстанции, но и за всякакви уредби с измервателни трансформатори.

## ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Чернева Г., Е. Димитрова. Оперативно управление на електроенергийната система в аварийни ситуации, Н. Сп. „Механика, Транспорт, Комуникации“, т. 10, бр.3/3, 2012
- [2] Cherneva G., E. Dimitrova. Application of Intelligent Methods in Control of Crisis Situations in Energetics. XVII Int. Sc. Conf. “Crises Situations Solution in Specific Environment”, 30-31.05.2012. Zilina, Slovakia, Proceedings, pp. 211-216, 2012
- [3] Миленов И., А. Семизоров, Напрежителни трансформатори за входа на съвременни компютърни измерителни системи, Сборник доклади на ВВТУ, с. 568-571, 1997
- [4] Напреженови измервателни трансформатори 110 kV, Техническа спецификация, ЧЕЗ Разпределение България АД, 2017
- [5] Вентилни отводи 5-144 kV, <http://www.acm-bg.com/index.php?m=320&lang=1&catid=243>
- [6] Напреженови измервателни трансформатори тип НК-7.2, 12 и 24 kV, Техническа спецификация, ЗАВН-Добрич, 2010

## ANALYSIS OF VOLTAGE TRANSFORMERS DURING THE RECONSTRUCTION OF A SUBSTATION 110/10 kV

Vasil Dimitrov, Gulek Nedjib  
[vdimitroff@abv.bg](mailto:vdimitroff@abv.bg)

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

**Key words:** *voltage measuring transformers, MV distribution network, electrical substations*

**Abstract:** *In recent years, there has been a significant increase in the workload of the existing "Medium-voltage" distribution network in the region of Boyana substation, which necessitates its upgrading, including inspection of the measurement and protection circuits operating since the construction of the substation in 1973. The aim of the paper is to analyze the state of the existing voltage transformers and surge arresters in the energy object, as well as to assess the necessity of their replacement during the substation reconstruction. A methodology for the selection of voltage transformers is proposed, the application of which requires modernization in the following aspects: due to the long service life and reduced work security, a replacing the operated voltage transformers BTM-10 in the indoor distribution system 10 kV with HK-12 transformers (for transformer connections) and HK-I-12 transformers (за measuring circuits) is proposed. These transformers are made with a laminated magnetic core of high permeability silicon steel. The low voltage winding is wound on the magnetic core and the primary high voltage winding composed of separate sections is mounted over it. The active part is covered with an epoxy resin compound with insulation class F. The proposed methodology can be used in the design and modernization of any kind of installations and systems with voltage transformers.*