

## Двуканално управление на морска система за компаундиране (МСК)

Тодор Лазаров, Николай Джагаров, Милен Бонев, Живко Гроздев

**Abstract:** *In order to raise the effectiveness of the energy system an electronic voltage regulator with a high speed operation can be installed. An original AVR scheme which uses, which uses proportional-integral-differential control and pulse-width modulation scheme to control the output voltage of the compound system, is presented. The scheme of the electronic regulator is enclosed.*

**Key words:** *ship's synchronous generator, automatic voltage regulator, compound excitation system, proportional-integral-differential regulator, width impulse modulation.*

### ВЪВЕДЕНИЕ

За възбуждане на редица корабни синхронни генератори се използва морска система за компаундиране (МСК). МСК представлява система за амплитудно-фазово компаундиране (САФК) [1,2], в която с помощта на сумиращ (компаундиращ) трансформатор електромагнитно се сумират два сигнала, пропорционални съответно на напрежението и тока на статора на генератора. Обратната връзка по напрежение на статора осигурява режима на празен ход, а обратната връзка по ток на статора (основно смущаващо въздействие) компенсира размагнитващото му влияние.

Класификационните организации [3,4] изискват поддържане на напрежението в корабните електроенергийни системи (КЕЕС) в определени граници в статични и динамични режими на работа, които не могат да бъдат постигнати от САФК. Затова се използва допълнителна обратна връзка по отклонение на напрежението, осъществявана от автоматичен регулатор на възбуждане (АРВ), наричан често коректор на напрежение. Системата за компаундиране е проектирана да осигурява напрежение по-голямо от номиналното в целия диапазон на изменение на товара и да осигурява траен ток на късо съединение, необходим за осигуряване на селективност на защитата в КЕЕС. Изпълнителният орган на АРВ отнема излишната енергия, осигурявана от САФК, и по такъв начин осигурява необходимата точност на регулиране на напрежението в КЕЕС.

Използват се различни АРВ на синхронни генератори на базата на различни закони за управление и на различни технически решения [5-10]. В [11] е предложена нова схема на автоматичен регулатор на възбуждане, предназначен за система за компаундиране МСК.

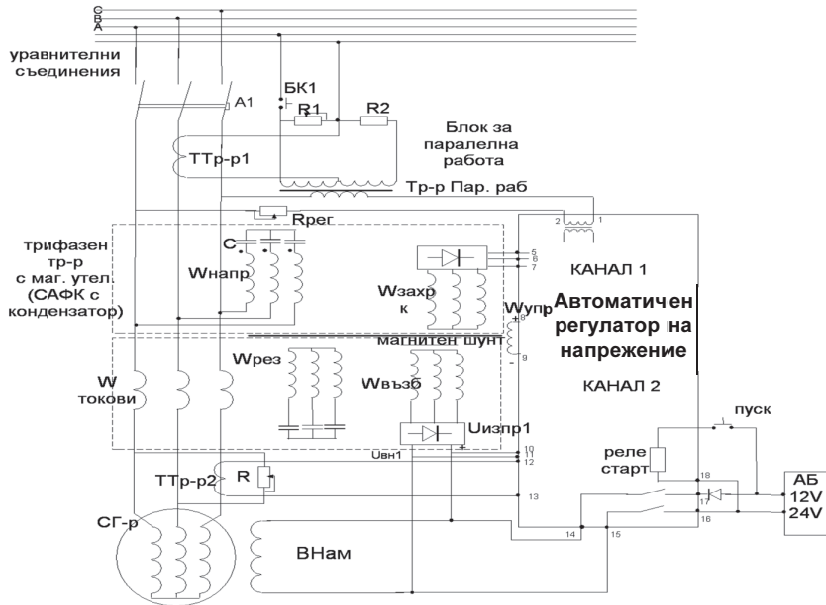
Използваният АРВ на система за компаундиране МСК е с транзистори и има обемен монтаж. Това е предпоставка за много паразитни капацитети които забавят бързодействието на схемата и намаляват и надеждността ѝ на работа.

В статията е предложена модернизирания АРВ и двуканална схема на автоматичен регулатор на възбуждане на корабен синхронен генератор за система за амплитудно-фазово компаундиране тип МСК.

### МОРСКА СИСТЕМА ЗА КОМПАУНДИРАНЕ тип (МСК)

На фиг.1 е показана морската система за компаундиране тип МСК, която се състои от сумиращ трансформатор с магнитен шунт, блок за управление с коректор на напрежението, генератор за първоначално възбуждане. Компаундиращият трансформатор е трибедрен и на всяко бедро има по една напрежена ( $W_H$ ), токова ( $W_T$ ) и вторична намотка ( $W_{\text{взб}}$ ). Трансформаторът се насища при токове през  $W_T \approx 3 \div 4 I_H$ . При  $I_H$  трансформаторът е ненаситен и вторичната намотка

$W_{възб}$  през изправител захранва възбудителната намотка на генератора  $ВНам$ . Компаундиращият елемент  $C_k$  е включен последователно в напреженовата намотка  $W_H$  като я превръща в източник на ток спрямо възбудителната намотка. Така сигналите на канала на напрежение КН и канала на ток КТ се сумират паралелно като токови източници.



Фиг. 1. Модернизирана морска система за компаундиране

Напреженовата намотка  $W_H$  е отделена от токовата  $W_T$  и вторичната  $W_{възб}$  с магнитен шунт, който определя коефициента на взаимна индукция между намотките и служи като изпълнителен орган на единия канал на регулатора на напрежение. Вторичната намотка  $W_{възб}$  захранва възбудителната намотка на генератора през изправителен мост.

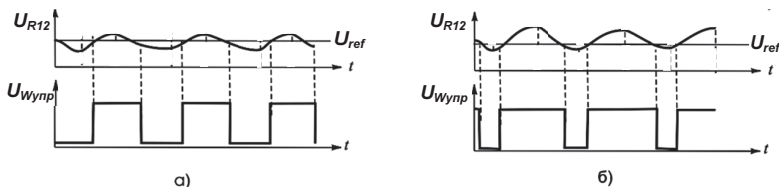
Сумарното магнитовъзбудително напрежение се получава от геометричното сумиране на магнитодвижещите напрежения, създадени от напреженовата намотка  $W_H$  и токовата намотка  $W_T$ .

Допълнителните намотки са намотката, захранваща коректора  $W_{захр.к}$ , резонансната  $W_{рез}$ , служеща за облекчаване на началното самовъзбуждане на генератора, и управляващата  $W_{унр}$ . Самовъзбуждането се осъществява с резонансен контур с включена кондензаторна батерия, който при пускане на генератора и достигане скорост, съответстваща на 45÷47 Hz, настъпва резонанс на напрежения и едното от тях (на кондензатора) се подава на възбудителната намотка. Управляващата намотка  $W_{унр}$  е включена към изхода на АРВ. Тя управлява подмагнитването на магнитния шунт и по този начин изменя коефициента на



възбуждането и напрежението на синхронния генератор, т.е. възстановява се необходимата стойност на напрежението. При понижаване на напрежението на генератора  $U_G$ , ширината на импулсите намалява и се възстановява напрежението на генератора. Зададената стойност на генераторното напрежение може да се променя при експлоатация, чрез потенциометъра  $R_3$  в границите  $-5 \div +10\%$  от номиналната стойност.

Напрежението от измерването през диода  $D1$  се подава към неинвертиращия вход на операционен усилвател  $OY4$  (тип LM 747). Операционният усилвател е с температурна защита, което рязко повишава надеждността на схемата. В групата  $D2$ , ценов диод  $ЦД$ ,  $R1$ ,  $R2$ ,  $R3$  се изработва референтен сигнал (сигнал на заданието) във вид на опорно напрежение  $U_{ref}$ , постъпващо на инвертиращия вход на операционен усилвател  $OY4$ . Колкото  $U_{зен}$  е по-голямо от  $U_{ref}$ , толкова изходното напрежение на усилвателя има по-голяма положителна стойност, т.е. изходният сигнал на  $OY4$  е с по-голяма продължителност (фиг.3). През диод  $D5$  положителният сигнал постъпва на базата на транзистор на  $Tr1$  и той се отпушва. От изхода му усиленият положителен импулс през  $D6$  постъпва на оптрона  $TIL111$  и чрез него отпушва полевия транзистор  $Tr2$ .



Фиг.3. Времедиаграми на система МСК, обясняващи принципа ѝ на работа

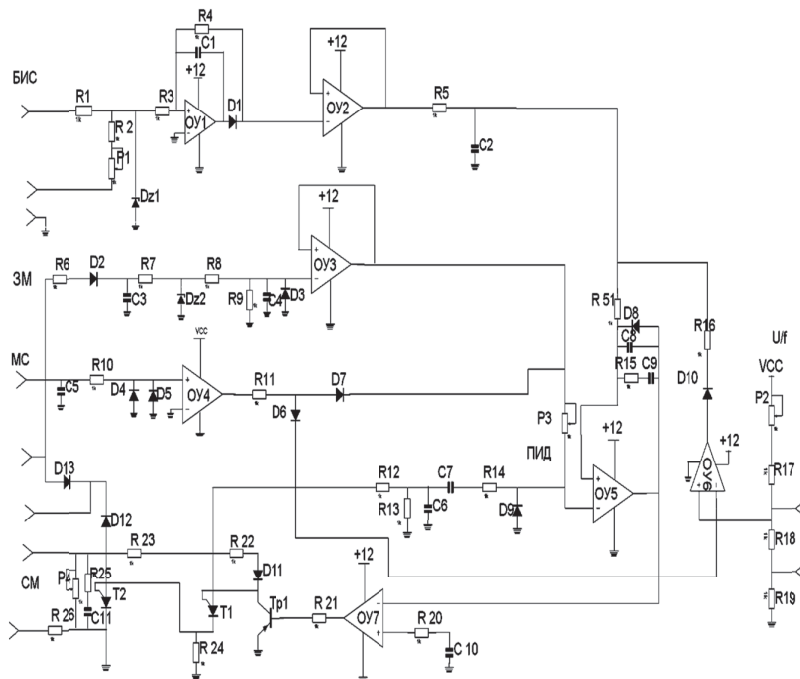
Управляващата постояннотокова намотка  $W_{ynp}$  получава широчинно-импулсно модулирано напрежение с различна средна стойност. Времедиаграмите на фиг.3 илюстрират изменението на средната стойност на напрежението на управляващата намотка  $U_{W_{ynp}}$

За да се повиши устойчивостта на работа на системата за управление на възбуждането на синхронния генератор, т.е. да се отстранят колебанията на напрежението при смущаващи въздействия, се въвежда обратна връзка чрез резистора  $R5$ . За различните типове генератори, които са с различни параметри, се подбира различен резистор. За защита на крайното стъпало от разряди на акумулирана във възбудителната намотка енергия паралелно на нея може да се включи обратен високочестотен диод. Самият полевия транзистор се защитава с ценов диод.

Предложената нова схема на автоматичния регулатор на възбуждане бе изпитана в лабораторни условия.

За подобряване работата на АРВ бе разработен допълнителен канал за управление, наричан канал 2, който работи паралелно с канал 1. Изпълнителен орган на втория канал е транзистор, включен след изправителя, захранващ възбудителната намотка на генератора. Този транзистор се управлява чрез широчинно-импулсна модулация, като по този начин, той шунтира част от възбудителния ток и отбира „излишната“ енергия на прекомандирания генератор.

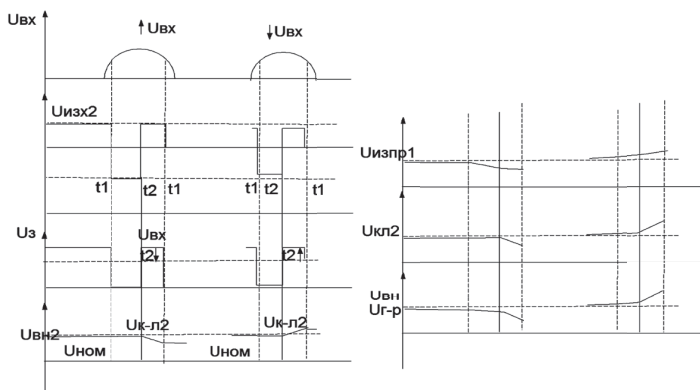
На фиг.4 е показана схемата на двуканалния автоматичен регулатор на възбуждане, обясняваща принципа на модернизирания система МСК.



Фиг.4. Схема на двуканалния автоматичен регулатор на възбудане, обясняваща принципа на модернизираната система МСК

От нея се вижда че канал 1 на АРВ въздейства върху амплитудата на напрежението на вторичната намотка на компаундирания трансформатор, а канал 2 регулира изправеното напрежение чрез ШИМ.

На фиг.5 са показани времедиаграмите на АРВ, илюстриращи неговата работа.



Фиг.5. Времедиаграми на АВР

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За да се увеличи надеждността и точността на работа е предложен и проектиран нов автоматичен регулатор на възбуждане на синхронен генератор с интегрални схеми. Регулаторът е тестван на еквивалентен товар. Получените експериментални резултати показват работоспособността и ефективността на работа на предложения двуканален регулатор. Подобрят се точността и бързодействието на работа на предложения регулатор на възбуждане.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ю.И.Максимов, Эксплуатация судовых синхронных генераторов, «Транспорт», Москва, 1969, 264 с.
- [2] Н.Ф.Джагаров, Корабни електроенергийни системи, Технически университет, Варна, 1997, 324 с.
- [3] IEC, Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance, International Standard, IEC 60034-1, 11<sup>th</sup> edition, 2004.
- [4] DNV, Rules for Ships/High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft, Part 4, Chapter 8: Electrical Installations, DNV, 2005
- [5] T.L.Dillman, J.W.Skooglund, F.W.Keay, W.H.South, and C.Raczkowski, A high initial response brush less excitation system, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS (90), 1971, pp.2089-2094.
- [6] C.S.Hoong, T.Taib, Development of Automatic Voltage Regulator for Synchronous Generator, Proceedings of Power and Energy Conference PEC 2004, 29-30 Nov. 2004, pp.180-184.
- [7] W.-M. Lin and C.-L.Lee, Discussion on Parameters Setting and Loss of Exciter Time Constant Compensation in Excitation System, 2006 International Conference on Power System Technology (POWERCON 2006), Chongqing, China October 22-26, 2006, pp.1-6
- [8] Htay M., and Win K.S., Design and Construction of Automatic Voltage Regulator for Diesel Engine Type Stand-alone Synchronous Generator, Proceedings of World Academy of Science: Engineering and Technology; Aug 2008, Vol.44, pp.763-769

[9] Park S.-H., Lee S.-K., Lee S.-W., Yu J.-S., Lee S.-S., Won C.-Y., Output Voltage Control of a Synchronous Generator for Ships Using Compound Type Digital AVR, 31<sup>st</sup> International Telecommunications Energy Conference, 2009. INTELEC 2009, 18-22 Oct. 2009, pp.1-6

[10] Zalewska, K., Rebizant, W., Kawecki, R., Comparative Analysis of Different Types of Generator Voltage Controllers, Proceedings of the IEEE 44th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2009, 1-4 Sept., pp.1-4.

[11] N.Djagarov, T.Lazarov, Automatic voltage regulator for a ship's synchronous generator, Proceedings of Twelfth International Conference on Marine Science and Technologies, 25-27 September, 2014, Varna, Bulgaria, pp.132-137.

**За контакти:**

инж. Тодор Петров Лазаров, Катедра „Електротехника“, Висше военноморско училище „Никола Й. Вапцаров“, тел: 0886 135246, e-mail: [todor\\_lazarov@yahoo.com](mailto:todor_lazarov@yahoo.com)

**Докладът е рецензиран.**