

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ПРОБЛЕМИ ПРИ КАСКАДЕН УМНОЖИТЕЛ ЗА ЛАБОРАТОРНИ ЦЕЛИ

Петко Костадинов, Васил Димитров

petko_kostadinov@abv.bg, vdimitroff@abv.bg

Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”

гр. София, ул. „Гео Милев” 158

РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

***Ключови думи:** Техника на високите напрежения (ТВН), изпитвателна високоволтова уредба, каскаден умножител на напрежение*

***Резюме:** Каскадните умножители на напрежение са полезно учебно пособие при провеждането на лабораторни упражнения по дисциплината „Техника на високите напрежения“. Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“ разполага с такъв високоволтов генератор, проектиран и изпълнен от колектив от катедра ЕЕТ. Генераторът осигурява симетрично двуполярно високо напрежение, което за около 15 секунди след включване на захранването достига 5.7 kV на рамо (т.е. 11,4 kV). Той е полезно допълнение в лабораторията по ТВН. С него се провеждат множество лабораторни упражнения, онагледяващи някои от преходните процеси, които протичат по време на работа на високоволтовите съоръжения при постоянен ток и напрежение.*

В някои случаи при провеждане на лабораторни упражнения се налага да бъдат направени серии от последователни разряди, при които времето между два последователни разряда е минимално и зависи единствено от времето за заряд на каскадата. При едногодишната експлоатация на умножителя в лабораторията по „ТВН“, след генерирането на една такава поредица разряди, беше забелязана опасна несиметрия на остатъчните заряди в кондензаторите на стъпалата, предизвикана от разлика в капацитетите на „натрупващите“ кондензатори.

В доклада е описан начинът, по който са направени измерванията за откриване на проблема, разработен е метод за разрешаването му. Представен е усъвършенстван вариант на монтажната схема на каскадния умножител.

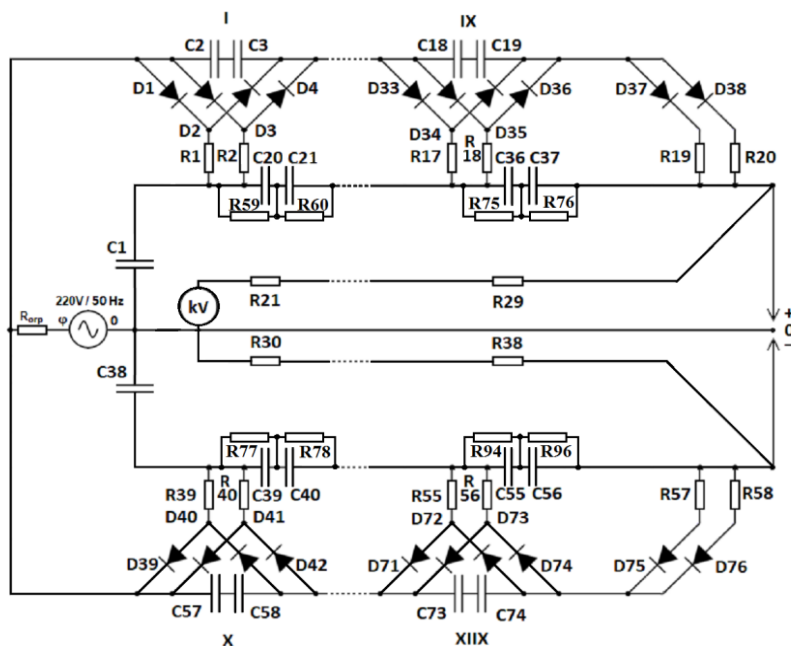
ВЪВЕДЕНИЕ

Каскадните умножители на напрежение са полезно учебно пособие при провеждането на лабораторни упражнения по дисциплината „Техника на високите напрежения“ (ТВН). Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“ (ВТУ) разполага с такъв високоволтов генератор, проектиран и изпълнен от колектив от катедра ЕЕТ [1]. Той е полезно допълнение в лабораторията по ТВН. С него се провеждат множество лабораторни упражнения, онагледяващи някои от преходните процеси, които протичат по време на работа на високоволтовите съоръжения при постоянен ток и напрежение [2, 3, 4].

При едногодишната експлоатация на умножителя в лабораторията по „ТВН“ беше забелязан проблем, свързан с несиметрия на остатъчните заряди в кондензаторите на стъпалата. В доклада е описан начинът, по който са направени измерванията за откриване на проблема, разработена е методика за разрешаването му. Представен е усъвършенстван вариант на монтажната схема на каскадния умножител.

КАСКАДЕН УМНОЖИТЕЛ НА НАПРЕЖЕНИЕ

Първоначалната монтажна схема на каскадния умножител е представена на фиг. 1. Схемата е съвкупност от два 9-стъпални умножителя на напрежение, като единият генерира високо напрежение с положителна полярност, а вторият – с отрицателна полярност. Като краен резултат на изходите на каскадния умножител се получават две напрежения спрямо земя с потенциали $+5,7\text{ kV}$ и $-5,7\text{ kV}$.



Фиг. 1. Монтажна схема на каскаден умножител

При полученото напрежение от $11,4\text{ kV}$ между двата изхода, по време на разряд токът във веригата би бил около $1,2\text{ kA}$ и се ограничава основно от последователно включените съпротивления на свързващите проводници, вътрешното съпротивление на „натрупващите“ кондензатори (ESR), $R_{огр}$, и съпротивлението на електрическата дъга.

Направени са изследвания относно големината на зарядния и разрядния ток и напрежението, при което започва разрядът, които подробно са описани в [5].

ОПИСАНИЕ НА ПРОБЛЕМА

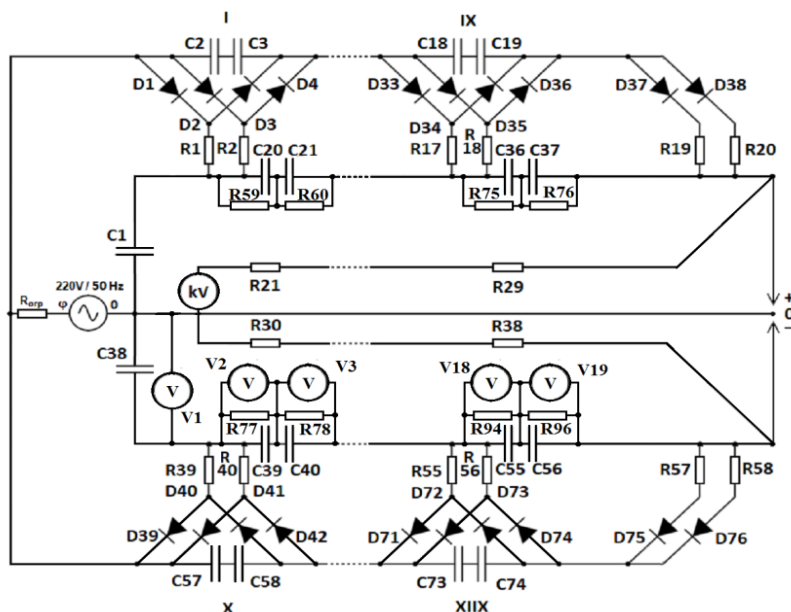
В преобладаващия брой случаи, експлоатацията на каскадния умножител на напрежение е свързано с генериране на еднократен разряд, но понякога се налага да бъдат направени серии от последователни разряди, при които времето между два последователни разряда е минимално и зависи единствено от времето за заряд на каскадата [2, 3].

След едногодишна експлоатация на умножителя по време на генерирането на една такава серия разряди, беше забелязано, че след всеки следващ разряд времето на заряд се увеличава. Това се оказва основателна причина да се направи проверка на изправността на високоволтовата уредба.

Първоначално бяха измерени напреженията на „натрупващите“ кондензатори от

страната, генерираща отрицателната стойност на изходното напрежение (C38÷C56) по схемата, показана на фиг. 2. Установи се, че след разряд на изводите на кондензатор C51 се появява напрежение с обратна полярност, като при следващия заряд

полярността отново се обръща, но напрежението не може да достигне до стойност, близка до измерената на съседните кондензатори. След генерирането на няколко поредни разряда напрежението на C51 (непосредствено след разряд) достига стойности от порядъка на 800V (обратна полярност) и започва процес на микропробиви във вътрешната изолация между неговите електроди. Измерената стойност на капацитета на C51 от 183 μF е значително по-ниска от номиналната (400 μF /400V) [1]. След подмяната на кондензатора C51 с нов, измерените напрежения бяха в норма.



Фиг. 2. Схема на свързване на измервателните уреди при измерване напрежението на натрупващите кондензатори

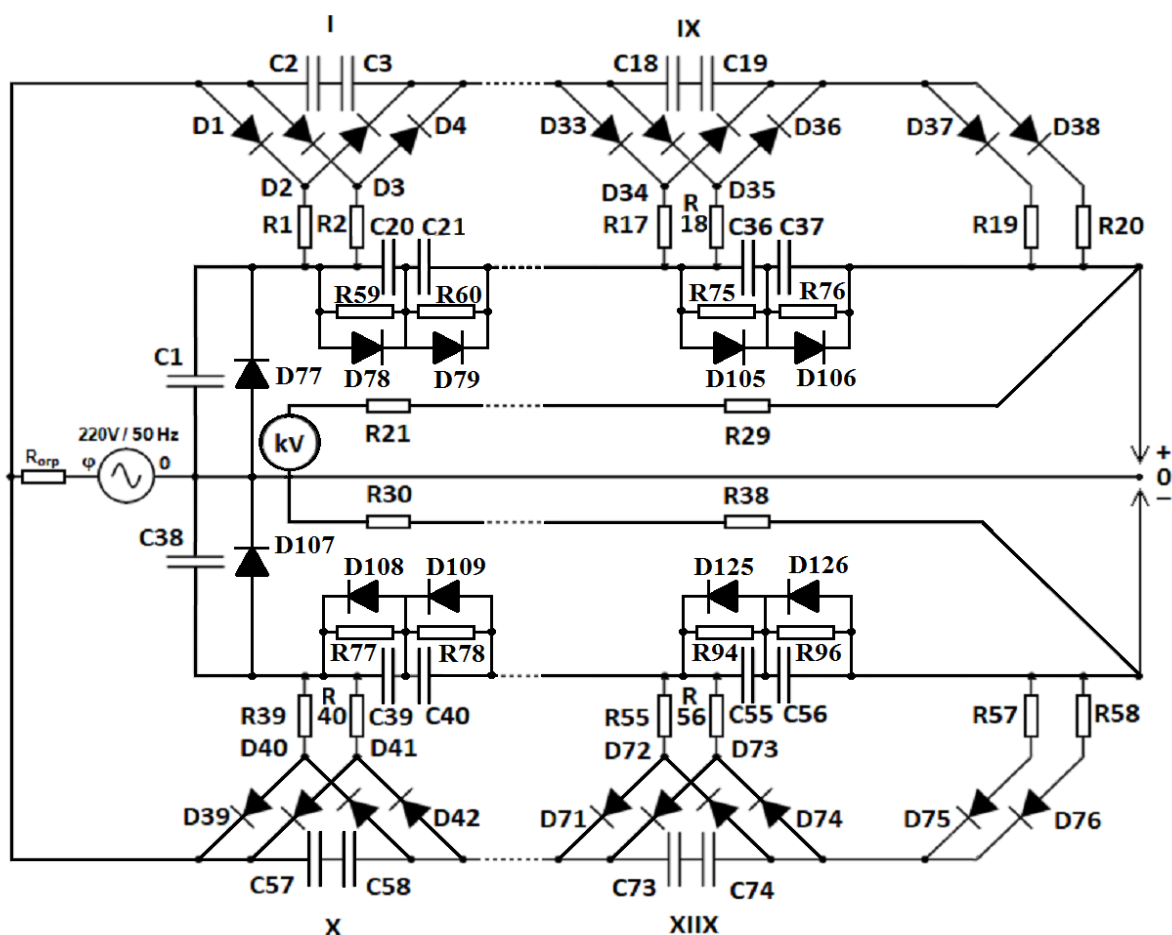
РЕШЕНИЕ НА ПРОБЛЕМА

С цел предпазване на уредбата за високо постоянно напрежение от следващ проблем от същото естество се взе решение да се предотврати възможността за обратно зареждане на кондензаторите чрез добавяне на диоди за обратен ток D78÷D126 по схемата, показана на фиг. 3.

На базата на натрупания опит при изграждането на уредба за постоянно високо напрежение се взе решение, диодите за обратен ток да бъдат с идентични параметри на тези, участващи във веригата за заряд [1]. Избран е изправителен блок GBJ5010 ТК (1000V, 50A и максимален импулсен ток 450A), като двете рамена на изправителя трябва да се свържат в паралел и да участват в схемата като двойка диоди.

ИЗВОДИ

Използването на двойка последователно свързани кондензатори с цел повишаване на работното напрежение в много случаи от практиката е приложимо и работоспособно, но трябва да се избягва в случаите, когато няма възможност да се извършва контрол на преходните процеси. При изграждането на уредби за високо напрежение, в които се използват множество последователно свързани кондензатори, е необходимо да се вземат мерки за ограничаване на приложените напрежения върху кондензаторите, както в права така и в обратна посока.



Фиг. 3. Монтажна схема на уредба за постоянно високо напрежение с добавени диоди за обратен ток във веригите на натрупващите кондензатори

В доклада е разработен е метод за разрешаването на проблема, свързан с опасна несиметрия на остатъчните заряди в кондензаторите на стъпалата, предизвикана от разликата в капацитетите на „натрупващите“ кондензатори. Представен е усъвършенстван вариант на монтажната схема на каскадния умножител.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Златков М., Изграждане на каскаден умножител на напрежение за лабораторни цели, „Механика, Транспорт, Комуникации“, ISSN 1312-3823 (print), том 19, брой 3, 2021 г., статия № 2149, стр. X-107 – X-110
- [2] Dwivedi C.K., Daigavane M.B. Multi-purpose low cost DC high voltage generator (60 kV output), using Cockcroft-Walton voltage multiplier circuit. International Journal of Science and Technology Education Research, vol.2(7), pp. 109-119, 2011.
- [3] Cortez D.F., Barbi I. A Family of High Voltage Gain SinglePhase Hybrid Switched-Capacitor PFC Rectifiers. IEEE Transactions On Power Electronics, vol. 30, Issue 8, pp. 4189-4198, 2015.
- [4] Kuffel E., W.S. Zaengl, J. Kuffel, High Voltage Engineering - Fundamentals, Second edition, ISBN 0 7506 3634, Butterworth-Heinemann, 2000
- [5] Секулов Л., И. Божичкова, М. Златков, М. Томчева, Изследване на товарната способност и разрядния ток на каскаден умножител на напрежение, „Механика,

OPERATING PROBLEMS AT LABORATORY CASCADE MULTIPLIER

Petko Kostadinov, Vasil Dimitrov

*Todor Kableskov University of Transport
Sofia, 158 Geo Milev Str.
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

Key words: *High voltage technology, high voltage test equipment, cascade voltage multiplier*

Summary: *Cascade voltage multipliers are a useful teaching aid in conducting laboratory exercises in the discipline "High Voltage Engineering". "Todor Kableskov" Higher School of Transport has such a high-voltage generator, designed and implemented by a team from the department of "Electrical Power Supply and Electrical Equipment of Transport". The generator provides symmetrical bipolar high voltage, which in about 15 seconds after switching on the power reaches 5.7 kV per arm (ie 11.4 kV). It is a useful addition to the relevant laboratory. With it, numerous laboratory exercises are carried out, illustrating some of the transient processes that occur during the operation of high-voltage equipment at DC current and voltage.*

In some cases, when conducting laboratory exercises, it is necessary to make series of consecutive discharges, in which the time between two consecutive discharges is minimal and depends only on the charge time of the cascade. During the one-year operation of the multiplier in the laboratory, after the generation of one such series of discharges, a dangerous asymmetry of the residual charges in the stage capacitors was noticed, caused by a difference in the capacities of the "accumulating" capacitors.

The paper describes the way in which the measurements were made to detect the problem, and a method was developed to solve it. An advanced version of the circuit diagram of the cascade multiplier is presented.