

УДК 621.301

Б.Т. Кононов, А.А. Мушаров

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## ЗАЩИТА СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ОРУЖИЯ

В статье предлагается для защиты систем электроснабжения от силовых деструктивных воздействий, применяемых в случаях электромагнитного терроризма, ограничивать перенапряжения и сверхтоки, используя для этого схемные решения, основанные на повышении частоты питающего напряжения путем применения в системах электроснабжения совмещенных электрических машин.

**Ключевые слова:** электромагнитное оружие, ограничение и фильтрация напряжения, увеличение частоты, совмещенная электрическая машина.

### Введение

**Постановка проблемы.** Силовые деструктивные воздействия, используемые электромагнитными террористами, представляют собой серьезную опасность для систем электроснабжения военного назначения. Реализация таких воздействий по проводным и беспроводным каналам может вызвать в системах электроснабжения даже большие повреждения, чем разрушающее действие обычного оружия. Не случайно, что в литературе [1, 2] такое оружие носит название “электромагнитной бомбы”. Защита систем электроснабжения комплексов вооружения и военной техники от действия электромагнитного оружия имеет свои специфические особенности и должна обеспечивать либо ограничение перенапряжений и сверхтоков, возникающих в системах электроснабжения, либо вовсе не допускать появления недопустимо опасных напряжений и токов.

**Анализ литературы.** Действенным способом защиты систем электроснабжения от воздействия электромагнитного оружия является ограничение перенапряжений, осуществляемое путем применения разрядников [1]. Однако при этом существенно искажается форма кривой питающего напряжения, что негативно сказывается на работе оборудования систем электроснабжения. Для парирования нежелательных последствий, вызываемых искажением формы кривой питающего напряжения, необходимо использовать фильтры, подавляющие высшие гармонические составляющие питающего напряжения.

Для исключения перенапряжений, связанных с возможностью возникновения резонансных явлений, требуется не допустить появления резонанса, изменяя при этом частоту питающего напряжения. Поскольку электромагнитный терроризм явление достаточно новое, постольку пути борьбы с ним изучены недостаточно.

**Целью настоящей статьи** является обоснование способов защиты систем электроснабжения

комплексов вооружения и военной техники от электромагнитного оружия.

### Основной материал

При использовании для борьбы с последствиями применения в системах электроснабжения электромагнитного оружия ограничителей напряжения синусоида питающего напряжения искажается и приобретает форму трапецеидальных импульсов, показанных на рис 1. Для определения состава гармоник выполним разложение трапецеидальной зависимости в ряд Фурье.

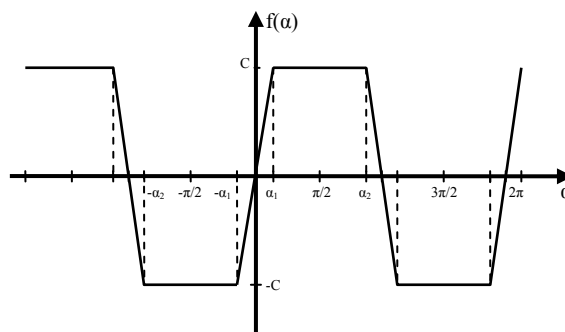


Рис. 1. Форма кривой питающего напряжения

Поскольку функция  $f(\alpha)$  симметрична относительно оси абсцисс при совмещении двух полупериодов во времени, то она содержит только нечетные гармоники. Кроме того, функция нечетная ( $f(\alpha) = -f(-\alpha)$ ), т.е. она содержит только синусоиды.

Так как функция удовлетворяет условию  $f(\alpha) = f(\pi - \alpha)$ , то, ввиду того, что при нечетных  $n$   $\sin(n \cdot \alpha) = \sin(n \cdot (\pi - \alpha))$  достаточно ограничиться представлением только за четверть периода, то есть за  $\frac{\pi}{2}$ . При этом функция  $f(\alpha)$  имеет вид:

$$f(\alpha) = \begin{cases} C \cdot \frac{\alpha}{\alpha_1} & \text{при } \alpha < \alpha_1; \\ C & \text{при } \alpha > \alpha_1. \end{cases} \quad (1)$$

В результате разложения получим:

$$b_n = \frac{4}{\pi} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} f(\alpha) \cdot \sin(n \cdot \alpha) d\alpha. \quad (2)$$

Исходя из того, что  $a_n = 0$  для любых  $n$ , и  $b_n = 0$  при четных  $n$ , получим:

$$b_n = \frac{4}{\pi} \cdot \left( \int_0^{\alpha_1} C \cdot \frac{\alpha}{\alpha_1} \cdot \sin(n \cdot \alpha) d\alpha + \int_{\alpha_1}^{\frac{\pi}{2}} C \cdot \sin(n \cdot \alpha) d\alpha \right).$$

Выполняя интегрирование первого интеграла по частям, получим:

$$b_n = \frac{4 \cdot C}{\pi} \left( \frac{\sin(\alpha_1 \cdot n) - \alpha_1 \cdot n \cdot \cos(\alpha_1 \cdot n)}{\alpha_1 \cdot n^2} + \frac{\cos(\alpha_1 \cdot n)}{n} \right) = \frac{4 \cdot C \sin(\alpha_1 \cdot n)}{\pi \alpha_1 \cdot n^2}. \quad (3)$$

Таким образом:

$$f(\alpha) = \frac{4 \cdot C}{\pi} \cdot \sum_{i=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{\sin(\alpha_1 \cdot n)}{\alpha_1 \cdot n^2} \cdot \sin(n \cdot \alpha). \quad (4)$$

Поскольку ограничение происходит при значении  $C$ , равном  $U_{ном}$ , то, приняв, что в этом случае угол  $\alpha_1 = \frac{\pi}{4}$ , получим из (4):

$$f(t) = \frac{4U_{ном}}{\pi} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{\sin(\frac{\pi}{4} n)}{\frac{\pi}{4} n^2} \sin(\omega t). \quad (5)$$

Очевидно, что наибольший вклад в искажение формы кривой питающего напряжения вносит третья гармоническая составляющая. Для ее подавления в состав системы электроснабжения следует ввести фильтр, представляющий собой Г-, Т- или П-образное звено. Параметры фильтра выбираются с использованием зависимостей, изложенных в [3].

Изменение частоты питающего напряжения применяется в системах электроснабжения радиотехнических и зенитно-ракетных комплексов. Однако в этих системах электроснабжения такое решение принято для уменьшения массы и габаритов основного оборудования. При этом для увеличения частоты питающего напряжения используется электромашиный преобразователь частоты, содержащий в своем составе асинхронный электродвигатель АД и синхронный генератор СГ повышенной частоты. В системе электроснабжения, кроме того, предусмотрен резервный источник питания – дизель-генератор в составе приводного дизеля ПД и генератора Г. Схема применяемой системы электроснабжения

показана на рис. 2. На рис. 2 не показано резервирование, применяемое в системе, и не указано ее коммутационное оборудование.

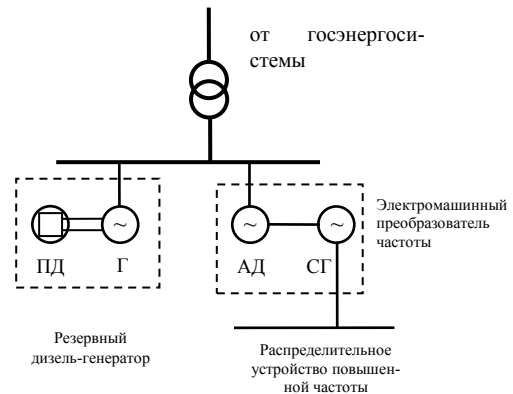


Рис. 2. Схема системы электроснабжения

Эффект, достигаемый за счет увеличения частоты, в схеме, показанной на рис. 2, может быть существенно повышен, если вместо известных решений, обеспечивающих получение повышенной частоты, использовать в системе электроснабжения для повышения частоты совмещенную электрическую машину, объединяющую функции резервного источника питания, преобразователя частоты и установки гарантированного питания. Схема предлагаемой системы показана на рис. 3. Здесь используется совмещенная электрическая машина, первая статорная обмотка которой подключена к шинам распределительного устройства промышленной частоты, а вторая статорная обмотка подключена к шинам распределительного устройства повышенной частоты.

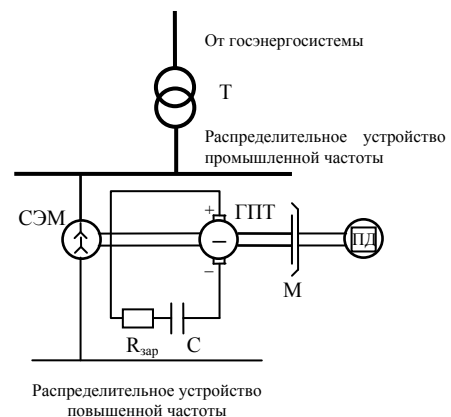


Рис. 2. Схема предлагаемой системы электроснабжения

В системе электроснабжения, кроме того, используется генератор постоянного тока ГПТ, подключенный через зарядный резистор  $R_{зар}$  к емкостному накопителю энергии  $C$ . Совмещенная электрическая машина находится на одном валу с генератором постоянного тока, соединенным с помощью раз-

общительной муфты М с приводным дизелем ПД.

В случае наличия напряжения, поступающего от госэнергосистемы, через трансформатор Т на шины распределительного устройства промышленной частоты для ввода в работу совмещенной электрической машины запускается приводной дизель. При этом разобщительная муфта М включена. Частота вращения вала доводится до синхронной, и после синхронизации совмещенная электрическая машина начинает работать параллельно с госэнергосистемой. Далее отключается разобщительная муфта М и останавливается приводной дизель ПД. Первая статорная обмотка совмещенной электрической машины из генераторного режима переходит в двигательный режим, в котором обеспечивается привод генератора постоянного тока и заряд емкостного накопителя энергии С. Совмещенная электрическая машина по второй статорной обмотке продолжает работать генератором, обеспечивая питание шин распределительного устройства повышенной частоты. При исчезновении напряжения от госэнергосистемы совмещенная электрическая машина по своей первой статорной обмотке переходит в генераторный режим. Привод совмещенной электрической машины обеспечивается от машины постоянного тока, которая переходит в двигательный режим, получая питание от емкостного накопителя энергии. Одновременно с этими процессами подается команда на включение разобщительной муфты М, вал электрических машин соединяется с валом приводного двигателя, запуск которого обеспечивается за счет использования кинетической энергии вращающихся роторов электрических машин переменного и постоянного тока. Тем самым в системе электроснабжения обеспечивается бесперебойность питания потребителей электрической энергии, так как совмещенная электрическая машина фактически становится установкой гарантированного питания, роль накопителя энергии в которой выполняет машина постоянного тока и емкостной накопитель энергии С, образующие, так называемый, активный маховик [3]. Предлагаемое техническое решение позволяет обеспечить гарантированное бесперебойное

питание электроприемников комплексов вооружения и военной техники даже в условиях силовых деструктивных воздействий в случаях электромагнитного терроризма, так как при резонансе, возникающем на частотах, близких к промышленной частоте, внешняя сеть, работающая на этой частоте отключается, а в сети повышенной частоты, питаемой от второй статорной обмотки совмещенной электрической машины, опасные резонансные явления не возникнут.

## Выводы

1. Защиту систем электроснабжения комплексов вооружения и военной техники необходимо осуществлять, применяя для этого ограничители перенапряжения и сглаживающие фильтры.

2. Ограничение напряжений, применяемое для защиты от электромагнитного терроризма, искажает форму кривой питающего напряжения за счет появления высших гармонических составляющих, среди которых преобладающей является третья гармоническая составляющая.

3. Эффективным способом защиты от электромагнитного терроризма является повышение частоты питающего напряжения. Для реализации этого способа защиты в системах электроснабжения комплексов вооружения и военной техники целесообразно применять совмещенные электрические машины.

## Список литературы

1. Кравченко В.И. *Электромагнитное оружие* / В.И. Кравченко. – Х.: Изд-во НТУ «ХПИ», 2008. – 185 с.
2. Барсуков В.С. *Безопасность: технологии, средства, услуги* / В.С. Барсуков. – М.: КУДИУ – Образ, 2001. – 500 с.
3. *Системы автономного электроснабжения: учебник* / Б.Ф. Самойленко, Б.Т. Кононов, Ю.А. Скворцов и др. – М.: МО СССР, 1990. – 317 с.

Поступила в редколлегию 25.07.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Н. Чинков, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## ЗАХИСТ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОМПЛЕКСІВ ОЗБРОЄННЯ І ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ЗБРОЇ

Б.Т. Кононов, А.О. Мушаров

*У статті запропоновано для захисту систем електропостачання від силових деструктивних впливів, які використовуються у випадках електромагнітного тероризму, обмежувати перенапруги і надструми та не допускати їх появи, використовуючи для цього схемні рішення, засновані на підвищенні частоти живильної напруги шляхом застосування в системах електропостачання суміщених електричних машин.*

**Ключові слова:** електромагнітна зброя, обмеження і фільтрація напруги, збільшення частоти, суміщена електрична машина.

## PROTECTION SYSTEMS OF ELECTRIC POWER SUPPLY OF ARMAMENT AND MILITARY EQUIPMENT FROM ELECTROMAGNETIC WEAPONS

B.T. Kononov, A.A. Musharov

*This article proposes to protect systems from electrical power of destructive influences, which are used in cases of electromagnetic terrorism, and to limit the overvoltage and to prevent their occurrence, using the circuit solutions based on increasing frequency voltage by applying in the electricity system combined electrical machines.*

**Keywords:** electromagnetic weapons, limiting and filtering the voltage, increasing the frequency, combined electrical machine.