

УДК 629.33.03-83

РЕАЛИЗАЦИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ САЛОНА СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Ночевкин Егор Олегович, магистрант,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, e.nochevkin@gmail.com

Сидоров Кирилл Михайлович, канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, k.sidorov@bk.ru

Аннотация. В настоящее время развитие автотранспортной отрасли связано со смещением акцента от классических автомобилей с двигателем внутреннего сгорания в сторону автомобилей с комбинированными энергетическими установками и электромобилей. Однако недостатком последних является относительно низкая удельная энергоемкость используемых аккумуляторов в сравнении с углеводородным топливом, и, как следствие, меньший запас хода. Ограниченность емкости тяговой батареи усугубляется необходимостью отопления салона транспортного средства. Для электромобилей и электробусов указанная задача осложняется отсутствием постоянного и интенсивного источника тепла, который есть в традиционных автомобилях. Таким образом, обеспечение комфортной температуры в салоне электрического транспортного средства влечет за собой использование энергии тяговой аккумуляторной батареи, что в конечном итоге сокращает запас хода. В настоящей статье рассмотрены вопросы реализации энергетически эффективного и безопасного отопления салона электрического транспортного средства, представлены существующие технические решения и разработки.

Ключевые слова: электромобиль; высоковольтный электрический отопитель; энергетическая эффективность; теплоотдача; термистор; позистор.

REALIZATION OF HIGH-VOLTAGE HEATING SYSTEMS FOR THE MODERN ELECTRICAL VEHICLES CABIN

Nochevkin Egor O., undergraduate,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, e.nochevkin@gmail.com

Sidorov Kirill M., Ph. D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, k.sidorov@bk.ru

Abstract. Currently, the development of the automotive industry is shifting from classic cars with an internal combustion engine towards cars with combined power plants and electric vehicles. However, the latter's disadvantage is the relatively low specific energy intensity of the batteries in comparison with hydrocarbon fuel, and, as a result, a smaller power reserve. The limited capacity of the traction battery is get worse by the need to heat the interior of the vehicle. For electric vehicles and electric buses, this task is complicated by the lack of a constant and intense heat source that is found in traditional cars. Thus, providing a comfortable temperature in the cabin of an electric vehicle entails the use of the energy of the traction battery, which ultimately reduces the power reserve. This article discusses

the implementation of energy efficient and safe heating of the electric vehicle cabin, presents the existing technical solutions and developments.

Key words: electric vehicle; high voltage heater; energy efficiency; heat transfer; thermistor; PTC-element.

Введение

На сегодняшний день автомобильная промышленность достигла значительного прогресса в разработке и производстве электромобилей, однако вопрос энергоэффективного отопления салона таких транспортных средств до сих пор является актуальным. Для примера, на автомобиле Tesla Model S система отопления функционирует при напряжении 240 В и токе 22–25 А и при максимальной нагрузке развивает мощность 5–6 кВт. Таким образом, за пять минут прогрева салона теряется около 500 Вт·ч, что эквивалентно расходу энергии для преодоления двух-трех километров пути. Данный расчет справедлив для транспортного средства, находящегося в покое, однако при движении стоит учитывать такие факторы, как условия движения и тепловые потери. Следовательно, потери уже становятся существенными и требуют совершенствования работы системы отопления электромобиля.

На рынке представлено множество технических устройств различных производителей, призванных решить проблему отопления салона электрического транспортного средства. Одним из решений является отопитель на основе элементов с положительным температурным коэффициентом – позисторов или РТС-элементов (от англ. *positive temperature coefficient*).

Устройство и принцип функционирования РТС-элемента

РТС-элемент представляет собой терморезистор с положительным температурным коэффициентом, обладающий специфическими особенностями: тепловое саморегулирование, эффективное

энергопотребление, самоограничение, быстроедействие, компактная конструкция и длительный срок службы. Данный элемент имеет широкий спектр применения: от саморегулирующихся нагревателей и защитных устройств от перегрузки по току, до датчиков температуры и управления.

Нагревательный элемент изготавливается из легированной поликристаллической керамики на основе титаната бария. Структура включает множество отдельных кристаллитов, на краю которых образуются, так называемые границы зерен (потенциальные барьеры), препятствующие свободному движению электронов в смежные области [1]. Однако этот эффект нейтрализуется при низких температурах. Высокие диэлектрические постоянные и резкая поляризация границ зерен предотвращают образование потенциальных барьеров и обеспечивают плавный поток свободных электронов.

При переходе за точку Кюри диэлектрическая проницаемость и поляризация уменьшаются настолько, что наблюдается сильный рост потенциальных барьеров и, следовательно, сопротивления. В определенном диапазоне температур выше температуры Кюри сопротивление РТС -элемента экспоненциально возрастает.

За пределами диапазона положительного температурного коэффициента α число свободных носителей заряда увеличивается, и сопротивление уменьшается согласно отрицательной температурной характеристике NTC (от англ. *negative temperature coefficient*), типичной для полупроводников [2]. Температурно-резистивная характеристика РТС - элементов на примере EPCOS B59102R0**0A010 представлена на рис. 1.

Примеры работы отопителя с РТС-элементами на электромобиле

По принципу функционирования отопителя можно разделить на воздушные и жидкостные. Примером высоковольтного воздушного

отопителя является устройство компании BorgWarner, которое представлено на рис. 2. Нагревательными элементами в этой системе являются керамические пластины с РТС-элементами в профильных трубках, закрепленные на каркасе и изолированные элементами радиатора [3].

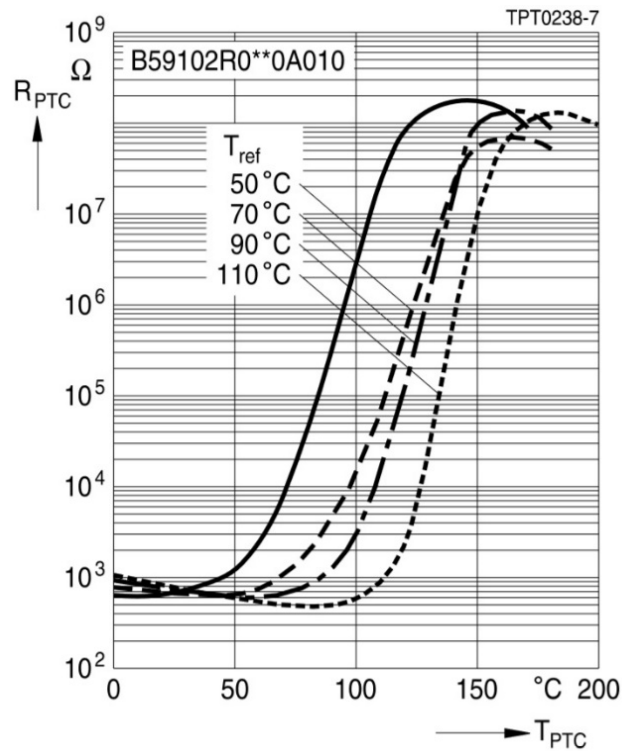


Рис. 1. Температурно-резистивная характеристика PTC-элементов EPCOS B59102R0**0A010

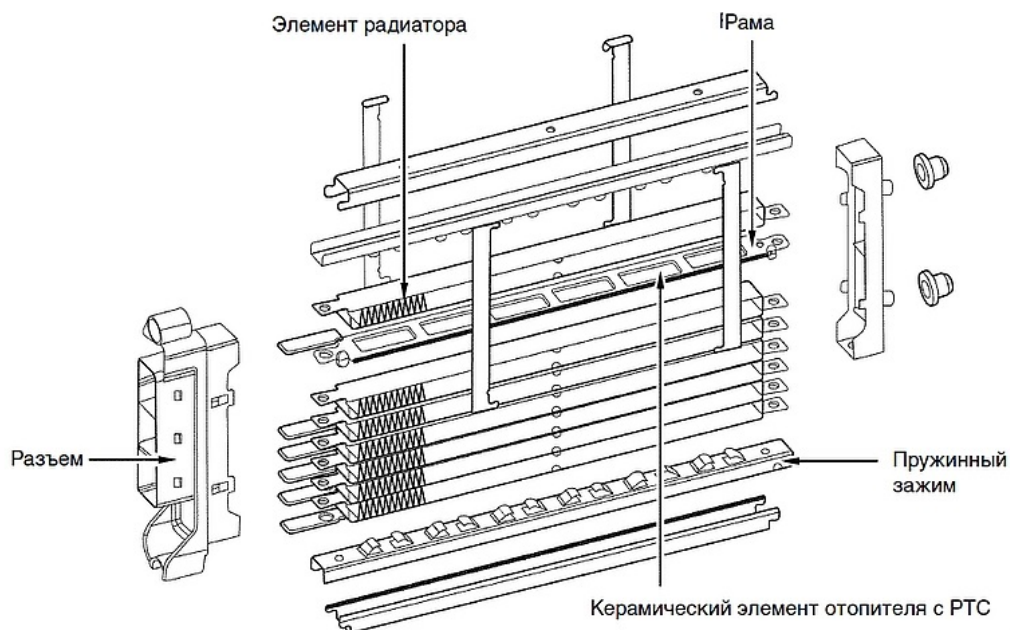


Рис. 2. Устройство воздушного отопителя с PTC-элементами

Через воздухозаборник холодный воздух из окружающей среды поступает на высоковольтный отопитель. Проходя через нагретые ячейки радиаторного элемента, расположенного непосредственно на воздушном отопителе, к которому подведено высокое напряжение, воздух нагревается и через вентиляционные отверстия поступает в салон транспортного средства.

Такое схемное решение применимо не только к электромобилям, но и к автомобилям с ДВС в качестве дополнительно источника тепла.

Преимущества воздушных отопителей:

- высокая чувствительность;
- беспроблемная интеграция в существующие системы отопления и кондиционирования;
- управление через прямое подключение отопительных контуров;
- управление с помощью простых реле или электроники;
- высокая теплопроизводительность с компактными размерами;
- безопасная и надежная технология РТС.

На рисунке 3 представлена конструкция жидкостного отопителя с РТС- элементами, разработанного компанией Mitsubishi Heavy Industries Ltd [4]. Отопитель предназначен для работы с жидкостным теплоносителем. В качестве нагревательного элемента указанного устройства используется керамический полупроводник с положительным температурным коэффициентом. Нагревательные элементы размещаются между изоляторами с высокой теплопроводностью, а тепло отводится в верхний и нижний теплообменники.

На рисунке 4 представлены конфигурации систем отопления в автомобиле с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) и электромобиле. В транспортном средстве с ДВС отопление реализуется за счет нагретого отработавшим теплом двигателя хладагента. В электромобилях хладагент нагревается при помощи РТС- элемента. Жидкость при этом циркулирует

с помощью электрического водяного насоса. Данное решение интегрировано в модуль отопления, вентиляции и кондиционирования [5].

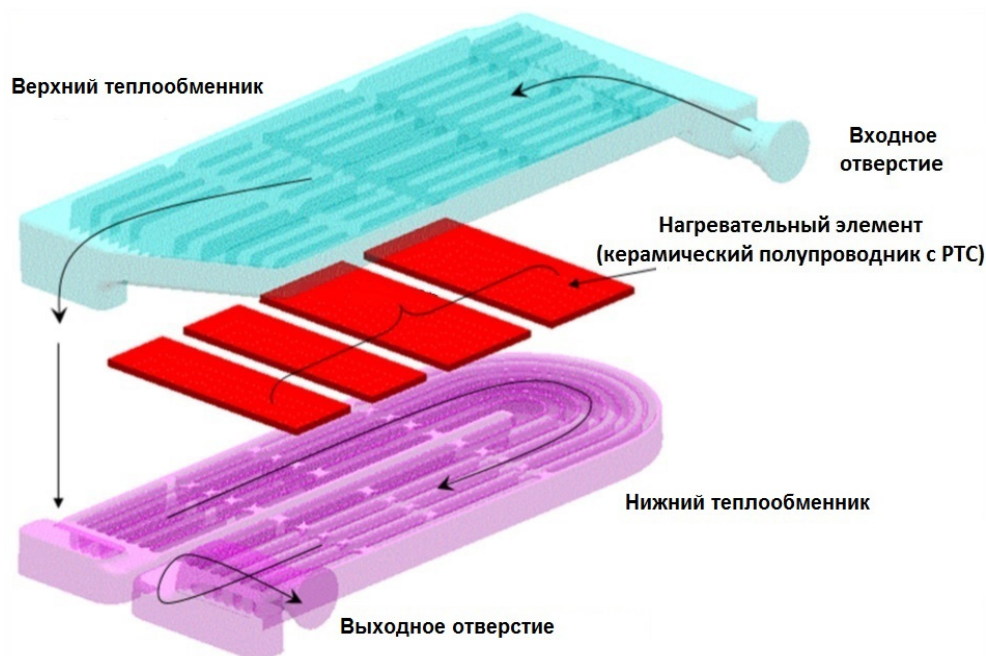


Рис. 3. Конструкция жидкостного отопителя с PTC-элементами
(New Electric Water Heater for Electric Vehicle/Plug-in Hybrid Electric Vehicle // Mitsubishi Heavy Industries Technical Review, vol. 54, no. 2 (June 2017), p. 57)

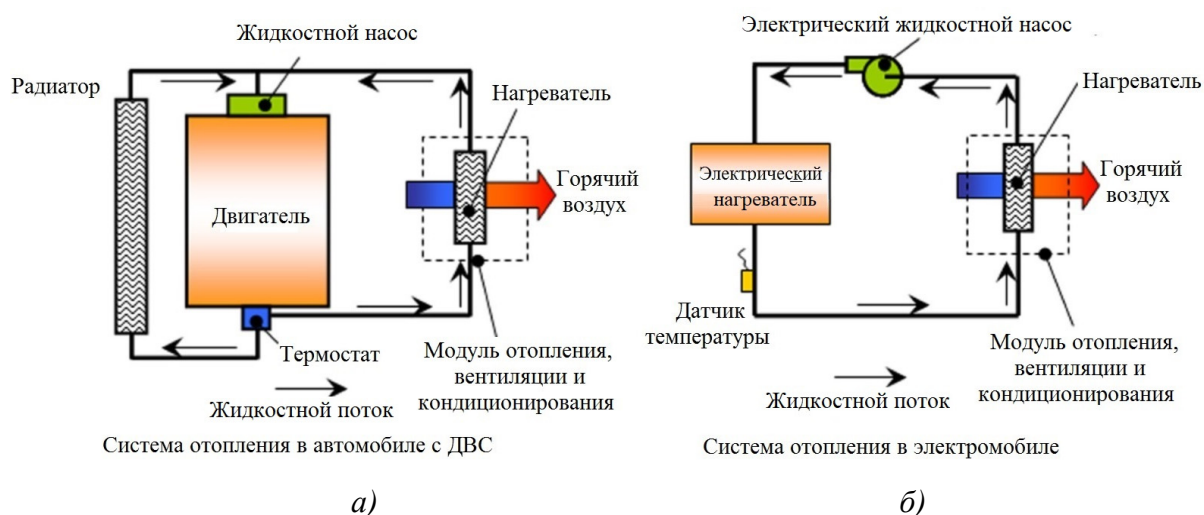


Рис. 4. Конфигурации систем отопления (автомобиль с ДВС (а) и электромобиль (б))
(PTC Heater for Electric Vehicles and Plug-in Hybrid Vehicles Using Water Heat Carrier // Mitsubishi Heavy Industries Technical Review, vol. 46, no. 4 (December 2010), p. 19)

Основными особенностями являются:

- безопасность, обеспечиваемая функцией саморегулирования нагревательного элемента;
- простота устройства и небольшие размеры;
- многоступенчатое управление включением / выключением модулей нагревательных элементов;
- модуль платы управления.

Обзор существующих технических решений и готовых устройств

В таблице представлены основные технические характеристики высоковольтных отопителей для легковых транспортных средств [6, 7, 8, 9, 10].

Таблица

Технические характеристики отопителей для легковых транспортных средств

Модель	Eberspächer Titronic AH-LV10 	Eberspächer Titronic CH-HV60 	Webasto HVH 	Borgwarner High Voltage Air Heater 	Calienté EV/HEV PTC Liquid Immersion Heating 	Caliente EV/HEV PTC Air Heating 
Номинальная мощность, кВт	$1,0 \pm 10\%$	$6,0 \pm 10\%$	7,0	$6,7 \pm 5\%$	$5,5 \pm 10\%$	$5 \pm 10\%$
Номинальное напряжение, В	–	$350 \pm 5\%$	450	210 – 470	350-580	300 – 500
Номинальная сила тока, А	$74 \pm 10\%$	$17 \pm 10\%$	24	< 30	20	10
Диапазон рабочего напряжения, В	8 – 16	250 – 450	250 – 450	210 – 470	400 – 580	300 – 500
Диапазон температур в режиме нагрева, °C	–40 – +110	–40 – +125	–40 – +90	–40 – 85	–40 – +120	–40 – +110
Степень защиты, IP	IP50	IP67	IP69	IP67	IPX7	IPX7
Размеры ДхШхВ, мм	190x94x14	301x138x116,5	284x200x54	–	–	285x200x30
Масса, кг	$0,23 \pm 5\%$	2,7	2,0	3,24	$< 2,5$	$< 2,0$

Данные таблицы свидетельствуют о том, что:

- номинальная мощность отопителей (за исключением низковольтного отопителя) варьируется в пределах от 5 до 7 кВт;
- высоковольтное номинальное напряжение варьируется в пределах от 210 до 580 В;
- диапазон номинальных значений силы тока – 17...74 А;
- диапазон рабочего напряжения (за исключением низковольтного отопителя) находится в пределах от 210 до 580 В;
- диапазон рабочих температур составляет от -40 до $+125^{\circ}\text{C}$;
- все устройства (за исключением низковольтного отопителя) имеют высокую степень защиты.

Заключение

РТС-технология хорошо зарекомендовала себя и полностью удовлетворяет требованиям для эффективного и безопасного способа отопления на электромобилях. Основными преимуществами системы являются:

1. Энергоэффективность. Устройства могут быть бесппроблемно интегрированы в модуль отопления, вентиляции и кондиционирования, не требуя дополнительных условий для установки, и обеспечивают высокую теплоотдачу, КПД (коэффициент полезного действия) таким образом достигает порядка 90%, а у некоторых моделей 95%.

2. Высокая степень безопасности. Обычные нагреватели работают при внутренних температурах, которые могут превышать 482°C , а нагреватели с РТС работают при температуре 270°C . Следовательно, более низкие рабочие температуры всегда повышают безопасность. Кроме того, поскольку РТС пластины не генерируют тепло с постоянной скоростью, как например, резистивные провода, то они быстро остывают, чтобы избежать перегрева.

3. Большой срок службы. Как и в случае любого оборудования, чем дольше влияние высоких внутренних температур, тем меньше срок службы. Как упоминалось выше, нагреватели РТС генерируют только тепло, необходимое для выполнения своей заранее запрограммированной цели. Это ограничивает перегрев, что означает меньшую вероятность выхода устройства из строя.

Список литературы

1. Characteristics of the PTC Heater Used in Automotive HVAC Systems // Department of Electrical Engineering, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Transilvania University of Brasov, 29 Eroilor Str., 500036 Brasov, Romania. – February 2010. – P. 461–468.
2. PTC thermistors as heating elements. Rectangular, 230 V // EPCOS AG 2016. – January 2016. – P. 1–10.
3. Explore our Technologies High Voltage Air Heaters for Passenger Cars // Borgwarner, HVAH. – 2017. – P. 1–2.
4. New Electric Water Heater for Electric Vehicle/Plug-in Hybrid Electric Vehicle // Mitsubishi Heavy Industries Technical Review. – June 2017. – Vol. 54, no. 2. – P. 57–58.
5. PTC Heater for Electric Vehicles and Plug-in Hybrid Vehicles Using Water Heat Carrier // Mitsubishi Heavy Industries Technical Review. – December 2010. – Vol. 46, no. 4. – P. 19–21.
6. PTC Heating Systems for Vehicle Body Manufacturers and Small Oems // Eberspächer Climate Control Systems GmbH & Co. KG, 8670185. – September 2013. – P. 1–8.
7. Electric High-Voltage Heater (HVH) // Webasto Thermo & Comfort SE, MK11131. – September 2015. – P. 1–2.
8. The comfortable and cost-effective road to the future. Heating and air-conditioning systems for trucks // Webasto Thermo & Comfort SE, MK11437. – August 2016. – P. 1–9.
9. EV/HEV PTC Liquid Immersion Heating // CalienteLLC, 315 E.Wallace St.Fort Wayne, IN 46803, USA. – P. 1–2.
10. EV/HEV PTC Air Heating, CalienteLLC, 315 E.Wallace St.Fort Wayne, IN 46803, USA. – P. 1–2.

References

1. Characteristics of the PTC Heater Used in Automotive HVAC Systems, Department of Electrical Engineering, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Transilvania University of Brasov, 29 Eroilor Str., 500036 Brasov, Romania, February 2010, pp. 461–468.
2. PTC thermistors as heating elements. Rectangular, 230 V, EPCOS AG 2016, January 2016, pp. 1–10.

3. Explore our Technologies High Voltage Air Heaters for Passenger Cars, Borgwarner, HVAH, 2017, pp. 1–2.
4. New Electric Water Heater for Electric Vehicle/Plug-in Hybrid Electric Vehicle, Mitsubishi Heavy Industries Technical Review, June 2017, vol. 54, no. 2, pp. 57–58.
5. PTC Heater for Electric Vehicles and Plug-in Hybrid Vehicles Using Water Heat Carrier, Mitsubishi Heavy Industries Technical Review, December 2010, vol. 46, no. 4, pp. 19–21.
6. PTC Heating Systems for Vehicle Body Manufacturers and Small Oems, Eberspächer Climate Control Systems GmbH & Co. KG, 8670185, September 2013, pp. 1–8.
7. Electric High-Voltage Heater (HVH), Webasto Thermo & Comfort SE, MK11131, September 2015, pp. 1–2.
8. The comfortable and cost-effective road to the future. Heating and air-conditioning systems for trucks, Webasto Thermo & Comfort SE, MK11437, August 2016, pp. 1–9.
9. EV/HEV PTC Liquid Immersion Heating, CalienteLLC, 315 E.Wallace St.Fort Wayne, IN 46803, USA, pp. 1–2.
10. EV/HEV PTC Air Heating, CalienteLLC, 315 E.Wallace St.Fort Wayne, IN 46803, USA, pp. 1–2.