УДК 621.317.7

В. У. КИЗИЛОВ, Ю. В. ВЛАДИМИРОВ

ЭЛЕКТРОННЫЕ СЧЕТЧИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Потребность в электронных счетчиках электроэнергии определяется ростом количества потребителей; увеличением единичной мощности генераторов и нагрузки; появлением электрического транспорта, где индукционные счетчики не приемлемы из-за больших вибраций; распространением инверторных источников питания с большим содержанием высших гармоник в кривой тока и напряжения и, конечно, возросшими требованиями к оценке эффективности всех отраслей производства.

Наиболее трудной является задача создания массового электронного счетчика низкой точности (1,0—2,0%), позволяющего организовать дистанционный учет расхода электроэнергии, сравнимого по стойкости с индукционным счетчиком такого же класса. При современном уровне технологии сравнение стоимости электронного и индукционного счетчиков имеет место при классе точности 0,2—0,5. В связи с этим в настоящее время получили распространение точные электронные счетчики для поверки индукционных счетчиков и счетчики для специальных цепей, где применение индукционных недопустимо.

Принципы построения электронных счетчиков можно разделить на две основные группы. К первой группе относятся счетчики, в которых предварительно в какой-либо форме образуется аналоговый сигнал, пропорциональный мощности контролируемой цепи, а затем осуществляется преобразование этого сигнала в частотный сигнал и цифровое интегрирование. Устройства этой группы можно подразделить на три подгруппы. К первой подгруппе относятся счетчики, в которых напряжение постоянного тока на выходе измерительного преобразователя мощности с любой схемой непосредственно интегрируется. В [1] на этом принципе получен класс точности 0,1. При малом уровне мощности точное интегрирование трудно выполнить.

Несколько отличны от рассмотренных устройства второй подгруппы, в которых напряжение, пропорциональное мощности, преобразуется в частоту, имеющую некоторое значение при нулевом значении напряжения. Вычитание этой частоты осуществляется в цифровой части устройства. Несколько более высокая точность достигнута в устройствах третьей подгруппы, где сигнал, пропорциональный мощности, сравнивается по среднему значению с последовательностью импульсов переменной частоты и постоянной вольтсекундной площади. В качестве компаратора может быть использован электродинамический механизм с магнитоэлектрической силовой компенсацией [2], подогревае-

мый термоэлемент или интегрирующий операционный усилитель. В работе [2] получен класс точности 0,05 как для измерений на переменном, так и на постоянном токе.

Все устройства первой группы позволяют одновременно получить электрический сигнал, пропорциональный мощности контролируемой цепи. Наряду с устройствами первой группы (подгруппы) создавались устройства, специально предназначенные для измерения энергии и осуществляющие операции и умножения и интегрирования в цифровой форме.

Первую подгруппу этих устройств составляют счетчики, в которых напряжение (или ток) преобразуется в импульс постоянной длительности с частотой, пропорциональной напряжению, или в импульс с длительностью, пропорциональной напряжению и постоянной частотой [3], а ток (напряжение) преобразуется в частоту, значительно превышающую частоту первого преобразования. На выходе устройства осуществляется подсчет импульсов второго преобразователя за время импульсов первого преобразователя. В устройствах второй подгруппы также имеется два преобразователя. В одном преобразователе на входе суммируются напряжения, пропорциональные напряжению и току в контролируемой цепи, а изменение частоты пропорционально квадрату этой суммы. На выходе второго преобразователя изменение частоты пропорционально квадрату разности тех же напряжений. Затем в цифровой форме осуществляется вычитание частот двух преобразователей, деление разностной частоты и интегрирование. Преобразователи могут быть выполнены на управляемых мультивибраторах или подогреваемых термосопротивлениях [4]. В последнем случае получен класс точности 0,05% при изменении частоты в контролируемой цепи от 20 гц до 80 кгц и класс 0,5 от постоянного тока до 80 кгц.

Интересное направление представляют статистические счетчики электрической энергии [5]. Если к напряжениям, пропорциональным току и напряжению контролируемой цепи, добавить взаимно-некоррелированные сигналы с нулевыми средними значениями и статически не зависимые от тока и напряжения, а полученные суммы подать на вход простого одноразрядного знакового коррелятора, то математическое ожидание сигнала на выходе коррелятора пропорционально математическому ожиданию произведения напряжения и тока контролируемой цепи за время усреднения, т. е. электрической энергии, потребляемой в контролируемой цепи. Точность тем выше, чем больше интервал усреднения, что вполне согласуется с требованиями к счетчикам. В качестве интерполирующих сигналов обычно выбирают периодические колебания пилообразной или трехугольной формы с разными и некратными гармоникам сигнала частотами с нулевым средним значением. Пока неизвестны подробные данные о практической точности таких устройств, но она не ниже, чем в устройствах других подгрупп.

В настоящее время все рассмотренные направления позволяли получить примерно одинаковые результаты и построить электронные устройства, по метрологическим свойствам значительно превышающие электромеханические индукционные счетчики.

В [6] описана дискуссия на международной конференции по вопросам точных измерений мощности и электрической энергии и высказано утверждение, что в ближайшие годы понадобятся измерительные преобразователи мощности с погрешностями не выше 0,002% и счетчики электроэнергии с погрешностью 0,005%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Schwendtner M., Steinmüller G. Elektronischer Kwh-Zähler hoher Genauigkeit, Siemens—Z, 1971, N 10, p. 671—675.
2. Нагата К., Кусун С., Ито М. Электронный образцовый счетчик электроэнергии. — «Тосиба Ревю», 1971, № 4, с. 525—527.
3. Nunlist H. Method and apparatur for statistically measuring electrical power consumption, Пат. США, кл. 342—142, № 3, 525.042.
4. Bombi F., Ciscato D. A new DC—AC digital power and energy meter, Trans. IEEE, v. IM-19, 1970, N 1, p. 57—61.
5. Moore A. D. Polarity coincidence correlation method and apparatus for measuring electrical energy. Пат. США, кл. 324—142, № 3470471.
6. Сугияма Т. К вопросу о современном стандарте точности при измерениях электрической мощности. — «Кэйсоку то сэйге», 1971, 10, № 10, с. 711—720.

УДК 621.376.54

В. М. МАКСИМОВ

АНАЛИЗ РАБОТЫ МАГНИТНО-ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОГО МОДУЛЯТОРА

Широко известна схема магнитно-полупроводникового широтно-импульсного модулятора (ШИМ) [1], использующая один магнитный сердечник. В [2] описана схема ШИМ на двух магнитных сердечниках. Наличие второго сердечника позволяет улучшить форму импульсов на выходе ШИМ, получить на выходе ШИМ импульсы с постоянной амплитудой, исключить протекание тока нагрузки через сопротивление, включенное в среднюю точку коллекторных обмоток мультивибратора, что повышает стабильность ШИМ.

Поскольку ШИМ является основным узлом множительного устройства (либо преобразователя мощности) и преобразует входной управляющий сигнал в некоторый временный параметр выходного сигнала, то функция преобразования ШИМ должна быть линейной и отклонение от линейности, определяющее погрешность ШИМ, не должно превышать заданных пределов.