

# Прецизионный измеритель высоких напряжений в рентгеновских аппаратах (ИАН-3)

И. П. ЗУБКОВ, Г. А. ВЛАДИМИРОВ

Разработан измеритель ИАН-3 для точных измерений анодных напряжений с пульсациями в рентгеновских аппаратах в диапазоне 40—125 кВ. Рассмотрены устройство измерителя, методика его настройки и калибровки, результаты калибровки. Погрешность измерителя не превышает 0,25 %. Измеритель ИАН-3 можно использовать для калибровки киловольтметров радиационного типа и при настройке медицинского рентгенодиагностического оборудования.

The meter IAN-3 for accurate measurement of anode voltages with ripples in X-ray apparatus over the range from 40 up to 125 kV has been developed. The arrangement of meter, its technique of set-up and calibration, the results of calibration are considered. It is shown, the uncertainty of meter is no more  $\pm 0,25$  %. The meter IAN-3 can be used for calibration of the kilovoltmeters of radiating type and for adjustment of the medical X-ray equipment.

Для измерения анодных напряжений на излучателях рентгеновских аппаратов достаточно широко применяются киловольтметры радиационного типа. Эти приборы основаны на инвазивных методах измерения с использованием выходящего излучения [1, 2]. Отсутствие необходимости непосредственного подключения к высоковольтным цепям, а также сравнительная простота и портативность способствуют их все большему распространению. Однако точность таких киловольтметров относительно невелика, их погрешности в пределах 3—5 %, и повышение точности в рамках используемого метода весьма проблематично. Известное более точное устройство, основанное на рентгено-спектральном методе [3], достаточно сложно.

Для повышения точности измерений анодных напряжений с пульсациями в рентгеновских аппаратах был разработан измеритель ИАН-3 на базе двойного делителя резистивно-емкостного типа с пиковыми вольтметрами на выходе. Такое решение позволяет сравнительно просто обеспечить прецизионность измерений амплитудных значений напряжений. Другая цель разработки измерителя — создание удобного прибора для калибровки киловольтметров радиационного типа. Массогабаритные характеристики разработанного измерителя позволяют использовать его как переносный прибор.

Измеритель ИАН-3 на базе двойного делителя напряжений, входы которого подключаются к анодной и катодной цепям излучателя рентгеновского аппарата (в дальнейшем обозначаемых как «+» и «—»), позволяет измерять амплитудные значения высоких напряжений в диапазоне 40—125 кВ с коэффициентом модуляции амплитуды до 0,25. Предусмотрена также возможность раздельного измерения напряжений в цепях «+» и «—» в диапазоне 20—62,5 кВ.

Конструктивно измеритель ИАН-3 выполнен в виде двух отдельных блоков: блока делителей и блока измерения амплитуды. Оба блока связаны кабелями по каналам «+» и «—».

Структурная схема измерителя анодных напряжений ИАН-3 показана на рис. 1.

Блок делителей, содержащий два резистивно-емкостных делителя для измерения напряжений в анодной и катод-

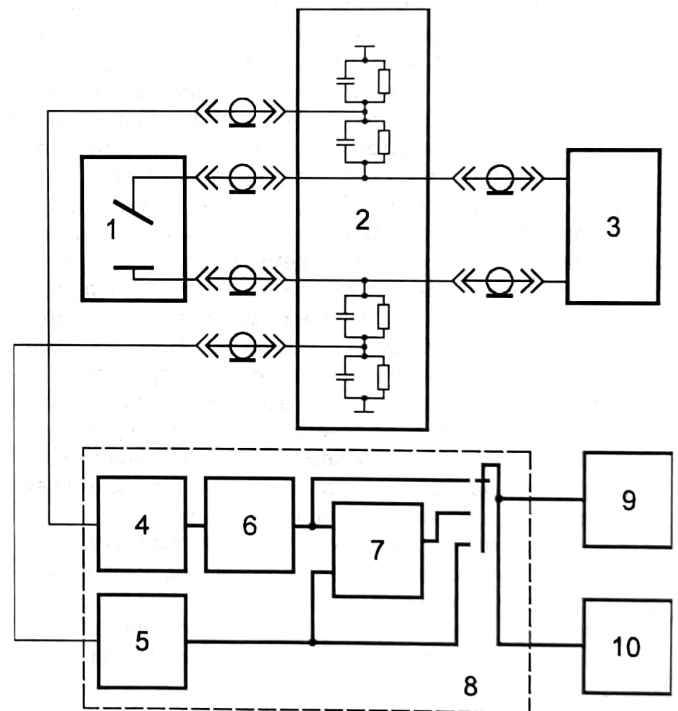


Рис. 1. Структурная схема измерителя анодных напряжений ИАН-3:

1 — излучатель рентгеновского аппарата; 2 — блок делителей; 3 — источник высоких напряжений рентгеновского аппарата; 4 — инвертор; 5, 6 — детекторы; 7 — сумматор; 8 — блок измерения амплитуды; 9 — встроенный вольтметр; 10 — внешний вольтметр

ной цепях рентгеновского аппарата, представляет собой металлический бак, заполненный маслом, в котором размещены высоковольтные плечи обоих делителей. На крышке бака расположены четыре стандартных ввода для подключения высоковольтных кабелей от рентгеновской аппаратуры и находится коробка с низковольтными плечами, имеющая два выходных разъема с делителями и клемму заземле-

ния. Контактные гнезда высоковольтных вводов соединены попарно и каждая пара подключена к входам делителей соответственно «+» и «—». Для каждой полярности один ввод в паре используется для подсоединения кабеля от источника высокого напряжения рентгеновского аппарата, а второй служит для включения кабеля, идущего на излучатель. Все вводы и коаксиальные разъемы выходов с делителей «+» и «—» имеют соответствующую маркировку полярности для правильного подключения кабелей. Сопротивление каждого высоковольтного плеча составляет 180 МОм, емкость — 1100 пФ. Соответствующие параметры низковольтных плеч подобраны таким образом, чтобы с высокой точностью обеспечить коэффициент деления 1:10000. При этом учитывались сопротивление входов блока измерения амплитуд и влияние емкостей соединительных кабелей. Габаритные размеры блока делителей 330 × 270 × 350 мм, масса не более 25 кг.

Блок делителей устанавливается непосредственно у рентгеновского аппарата и его входы «+» и «—» с помощью высоковольтных кабелей подключаются к выходам источника высоких напряжений и к разъемам излучающей трубки рентгеновского аппарата. Блок измерения амплитуд можно располагать в безопасной зоне вблизи пульта управления рентгеновского аппарата.

Блок измерения амплитуд содержит двухканальную схему преобразования сигналов с выходов делителей «+» и «—» в постоянное напряжение и встроенный цифровой вольтметр. В каждом канале «+» и «—» имеются детекторы, преобразующие сигналы с выходов делителей, при этом на входе канала отрицательного напряжения установлен инвертирующий каскад. Преобразованные сигналы можно измерять по отдельности либо подавать на сумматор, а затем на вход вольтметра. Встроенный вольтметр выполнен на основе интегральной микросхемы КР572ПВ2А, обеспечивающей 3,5-разрядную индикацию. Для точных измерений можно использовать внешний цифровой вольтметр, подключаемый к специальному разъему «Прибор». Входные разъемы блока измерения амплитуды, предназначенные для подключения соответствующих выходов с делителей, размещены на задней панели и имеют маркировку «+» и «—». Там же находится разъем для подключения внешнего вольтметра. На задней панели также расположены клемма заземления, предохранитель и шнур питания.

На лицевой панели блока измерения амплитуд расположены: цифровой индикатор встроенного вольтметра, тумблер включения сети питания и лампочка «Сеть», кнопки переключателя режимов измерений, кнопка переключения на внешний вольтметр «Прибор» и кнопка «Разряд» для разряда накопительного конденсатора. Кнопки переключателя режимов «Σ», «+» и «—» предназначены для вывода на индикатор показаний суммарного напряжения с обоих делителей или с каждого делителя в отдельности с учетом полярности.

Входные сопротивления каждого из измерительных каналов «+» и «—» блока измерения амплитуд равны 1 МОм, входные емкости не более 350 пФ. Значения измеряемых напряжений составляют 2—7 В для обеих полярностей. Для защиты входных цепей прибора от перенапряжений используются стабилитроны.

Габаритные размеры блока измерения амплитуд 200 × 100 × 310 мм, масса не более 2,7 кг.

#### Настройка и калибровка измерителя.

Предварительно, перед калибровкой измерителя ИАН-3 была выполнена настройка отдельно для делителей «+» и «—» и для каждого канала блока измерения амплитуд.

Настройку коэффициентов деления  $K = 10000$  по резисторной цепи делителя проводили при высоком постоянном напряжении, изменяя сопротивления переменных резисторов в плече низкого напряжения каждого делителя. Напряжение на входе делителя контролировали эталонным дифференциальным измерителем напряжений ДВИНА-100 [4], напряжения на выходе делителя измеряли вольтметром В7-34А, ко входу которого подключали резистор сопротивлением 1,1 МОм, обеспечивающий требуемую нагрузку делителя. Поскольку погрешность измерителя ДВИНА-100 на постоянных напряжениях не превышает 0,01 %, погрешность настроенных при постоянном напряжении делителей определялась нелинейностью коэффициента деления по диапазону.

Конденсаторную цепь делителя настраивали при переменном напряжении частотой 50 Гц, которое контролировали при помощи образцового делителя с газонаполненным конденсатором в плече высокого напряжения. Со стороны низкого напряжения к обоим делителям присоединяли вольтметры В7-34А, запуск вольтметров синхронизировали для уменьшения влияния нестабильности высокого напряжения. Емкость конденсаторов в плече низкого напряжения изменяли до получения заданных значений коэффициентов деления. Неисключенная систематическая погрешность при настройке на переменном напряжении составляла 0,3 %, что было вполне приемлемо с учетом ограниченного уровня пульсаций.

При настройке блока измерения амплитуд использовали калибраторы постоянного и переменного напряжений типов В1-12 и В1-9.

После предварительной настройки была выполнена калибровка ИАН-3 в целом на рабочих высоких напряжениях с пульсациями. Схема калибровки приведена на рис. 2. К источнику высоких напряжений пульсирующих напряжений подключали дифференциальный измеритель ДВИНА-100 и один из входов «+» или «—» ИАН-3. Для обеспечения высокой точности к блоку измерения амплитуды подсоединяли внешний цифровой вольтметр В2-34, имеющий погрешность 0,005 %. Сигнал с выхода ДВИНА-100 измеряли осциллографом С9-8, при этом обеспечивали измеряемый сигнал не более 40 В. Амплитуду напряжения, измеряемую ДВИНА-100, находили из соотношения

$$U_a = U_i + \Delta U,$$

где  $U_i$  — напряжение стабилизации для заданной  $i$ -й ступени ДВИНА-100;  $\Delta U$  — амплитуда сигнала, измеренная осциллографом.

Результаты измерений амплитуды напряжения, полученные при помощи ИАН-3 и ДВИНА-100, сравнивали в пяти

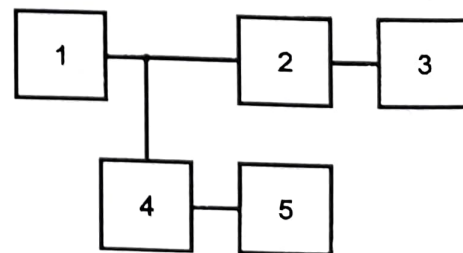


Рис. 2. Схема калибровки измерителя ИАН-3:

1 — источник высоких напряжений; 2 — ДВИНА-100; 3 — осциллограф С9-8; 4 — ИАН-3; 5 — внешний вольтметр В2-34

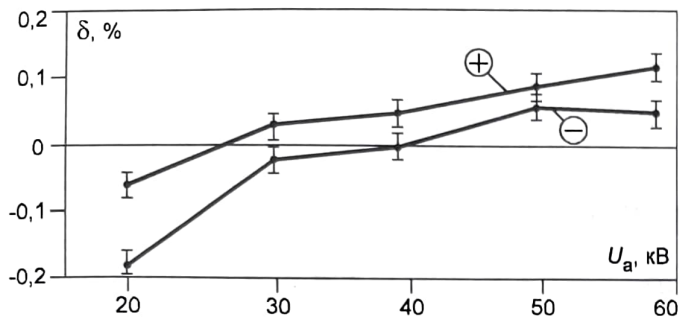


Рис. 3. Расхождения между значениями амплитуды, измеренной ИАН-3 и дифференциальным измерителем ДВИНА-100

точках по диапазону. Расхождения между значениями амплитуд  $U_a$  и  $U$ , измеренной ИАН-3, оценивали в процентах по формуле

$$\delta = 100 (U - U_a) / U_a.$$

Результаты калибровки приведены на рис. 3. Как видно, расхождения не превышают  $-0,18\%$  по каналу «—» и  $0,12\%$  по каналу «+». Среднее квадратическое отклонение не более  $0,025\%$ . Неисключенная систематическая погрешность образцового СИ не превышает  $0,05\%$ . Таким образом, можно заключить, что погрешность ИАН-3 находится в пределах  $\pm 0,25\%$ .

#### Применение измерителя ИАН-3.

Поверка радиационных киловольтметров различных типов с помощью ИАН-3 может проводиться следующим образом.

Измеритель ИАН-3 подключается, как описано выше, к источнику высоких напряжений и к излучателю рентгеновского аппарата. Блок измерения амплитуд (с подключенным точным вольтметром, если это требуется) размещается вблизи пульта управления. Поверяемый киловольтметр или его выносной блок находятся под излучателем в зоне выходящего излучения. Измеряя амплитуду анодного напряжения с помощью ИАН-3 в требуемом диапазоне напряжений и сравнивая эти показания с показаниями радиационного киловольтметра, определяют пределы погрешности поверяемого прибора. Поскольку погрешность ИАН-3 с подключенным точным вольтметром не превышает  $0,25\%$ , с его помощью можно поверять средства измерений класса точности 1,0, что в настоящий момент даже опережает потребности в данной области. Радиационные киловольтметры с погрешностями 3—5% достаточно поверять со встроенным

вольтметром. Относительно небольшие габариты и масса ИАН-3 дают возможность использовать его в качестве переносного прибора и проводить калибровку в месте нахождения рентгеновской установки.

Другое важное применение ИАН-3 — настройка рентгено-диагностических аппаратов при выпуске из производства или после ремонта. Портативность ИАН-3 и в этом случае определяет известное удобство. Возможность проведения измерений отдельно в цепях «+» и «—» дает дополнительные преимущества при настройке. Следует отметить также, что измерения с помощью ИАН-3 можно проводить с работающим излучателем, т. е. в эксплуатационном режиме. Использование измерителя ИАН-3 позволит точнее выставлять значения напряжений на уставках рентгено-диагностических аппаратов и, в конечном итоге, минимизировать дозовую нагрузку при обследованиях пациентов.

**Заключение.** В результате проведенной разработки сделан важный шаг на пути совершенствования электроизмерительной аппаратуры, применяемой для настройки и калибровки средств измерений анодных напряжений в рентгеновских аппаратах. Создан измеритель ИАН-3, обеспечивающий измерение амплитуды пульсирующих напряжений с погрешностью  $0,25\%$ . Применение делителей позволяет достаточно просто повысить точность измерения анодных напряжений, а относительно небольшие массогабаритные характеристики ИАН-3 позволяют использовать его в качестве переносного прибора.

К недостаткам измерителя ИАН-3 следует отнести невозможность измерений в рентгеновских аппаратах моноблочной конструкции, где источник высоких напряжений объединен с излучателем. В этом случае приходится использовать средства измерений, основанные на инвазивных методах. Нужно отметить также, что ИАН-3 разрабатывался в основном для работы с отечественными аппаратами и его верхний диапазон ограничен напряжением 125 кВ. Однако расширение диапазона измерений рассматриваемого измерителя не связано с принципиальными трудностями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лейченко А. И. и др. // Тез. IX Всесоюз. конфер. «Измерения в медицине и их метрологическое обеспечение». — М., 1989. — С. 123.
2. Зубков И. П., Ларчиков Ю. В. // Измерительная техника. — 1993. — № 2. — С. 68.
3. Larchikov Yu. V., Zoubkov I. P. // 9th Intern. Symp. High Voltage Engineering. — Graz (Austria), 1995. — P. 4538.
4. Боярин Н. А. и др. // Законодательная и прикладная метрология. — 1995. — № 4. — С. 20.