

## ПРИБОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИКИ СКОЛЬЗЯЩЕГО КОНТАКТА

Л. Я. Зиннер, А. И. Скороспешкин, И. А. Левский

(Рекомендована научным семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники)

Профилметр предназначен для измерения профилей коллекторов электрических машин в статике и динамике с шириной ламели не менее 1,5 мм и для измерений радиальных и тангенциальных вибраций щеток.

В качестве датчика малых перемещений в профилметре использован разработанный авторами двухобкладочный датчик емкостного типа (рис. 1). Обе обкладки расположены по одной прямой вдоль коллекторной пластины и помещены в массивный медный экран. В торце экрана

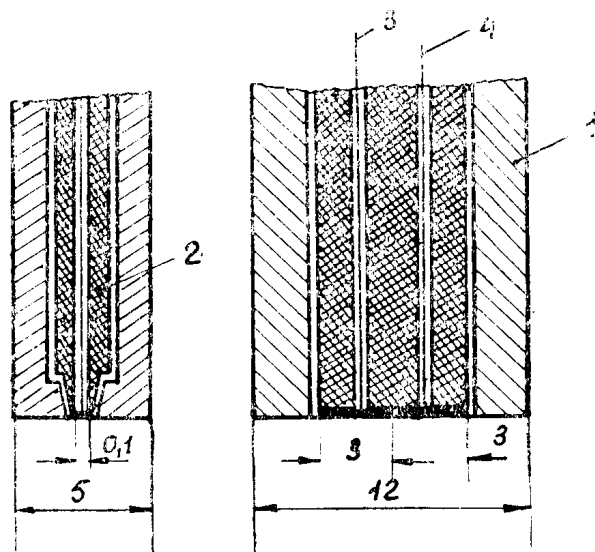


Рис. 1. Конструкция емкостного датчика: 1—экран датчика, 2—изолятор, 3—измерительная обкладка датчика, 4 — нулевая обкладка датчика

оставлена узкая щель длиной 6 и шириной 0,1 мм. В щели экрана помещаются обкладки датчика. Одна из обкладок соединена с землей прибора. Экран предохраняет прибор от высокочастотных наводок и паразитных емкостных связей на землю, кроме того, он играет роль охранного кольца, обеспечивающего однородность электрического поля датчика и, следовательно, повышающую разрешающую способность датчика по ширине ламели.

Емкость такого датчика без учета эффекта экранирования определяется приближенной формулой

$$C = \frac{27,8 \varepsilon l}{\ln \frac{h}{r} + \sqrt{\left(\frac{h}{l}\right)^2 - 1}}, \quad (1)$$

где  $l$  — длина обкладки,  $r$  — радиус обкладки,  $h$  — зазор.

Емкостный датчик включается в измерительный мост с тесной индуктивной связью между плечами. Схема экранировки датчика и моста показана на рис. 2. Благодаря такой схеме удается избавиться от наводок и влияния паразитных связей на землю. Кроме того, поскольку экран моста, экран кабеля, соединяющего датчик с мостом, и охранное кольцо находятся под потенциалом генератора, удается получить однородное поле датчика, что повышает линейность характеристики датчика и его разрешающую способность.

Измерительный мост питается от генератора стабильной частоты и стабильного напряжения, собранного на транзисторах  $T_1$ — $T_4$ , который выдает на нагрузку напряжение 4 в частотой 1,5 мГц.

Для стабилизации выходного напряжения генератора в схеме предусмотрена система АРУ. Часть напряжения выхода  $T_4$  меняет режим базы  $T_3$ , включенного параллельно с  $T_2$  на общую эмиттерную нагрузку, и, следовательно, изменяется режим  $T_4$  по постоянному току, что влечет за собой изменение его коэффициента усиления. Стабильность напряжения генератора составляет 0,5%.

Использованная в приборе схема генератора позволяет, кроме того, модулировать выходное напряжение генератора путем подачи сигнала с генератора-калибратора на базу  $T_3$ .

Генератор-калибратор, предназначенный для калибровки профиля коллекторов в динамике, выдает на базу  $T_3$  прямоугольные импульсы, которые в дальнейшем проходят весь тракт усиления. Частота следования импульсов 3 кГц, а высота их соответствует отклонению зазора между датчиком и коллектором на 10 мк и устанавливается уровнем среза диода  $D_1$ .

Генератор-калибратор состоит из LC-генератора, собранного на  $T_5$ , диодного ограничителя  $D_1$  и подключается к базе  $T_3$  тумблером  $П_4$ .

Измерительная схема профилометра (рис. 2) состоит из высокочастотного усилителя  $T_6$ — $T_9$ , амплитудного детектора  $D_3$ , видеусилителя  $T_{11}$ — $T_{15}$ , схемы автоматической коррекции характеристики преобразования датчика  $D_4$ ,  $D_5$ ,  $T_{10}$  и УПТ для измерения профиля коллектора в статике  $T_{16}$ — $T_{18}$ .

Для согласования входа усилителя с выходом моста использован каскадный эмиттерный повторитель  $T_6$ ,  $T_7$ , имеющий высокое входное сопротивление.

Усилитель высокой частоты  $T_8$ ,  $T_9$  настроен на частоту генератора и обеспечивает на выходе детектора напряжение 2в, необходимое для работы детектора на линейном участке характеристики. Коэффициент усиления усилителя составляет 300. Усилитель охвачен отрицательными связями для стабилизации коэффициента усиления.

Схема коррекции, выполненная на диодах  $D_4$ ,  $D_5$  и транзисторе  $T_{10}$ , предназначена для линейризации характеристики датчика. На зазоре 0,3 мм диоды  $D_5$  и  $T_{10}$  заперты, и сигнал на выходе высокочастотного усилителя определяется только его коэффициентом усиления. При уменьшении зазора напряжение на выходе усилителя увеличивается линейно с уменьшением зазора и характеристика датчика остается линейной на участке от 0,3 до 0,2 мм. Дальнейшее уменьшение зазора приводит к тому, что  $T_{10}$  по мере увеличения выходного напряжения усилителя все более отпирается напряжением с  $D_5$  и шунтирует входную цепь

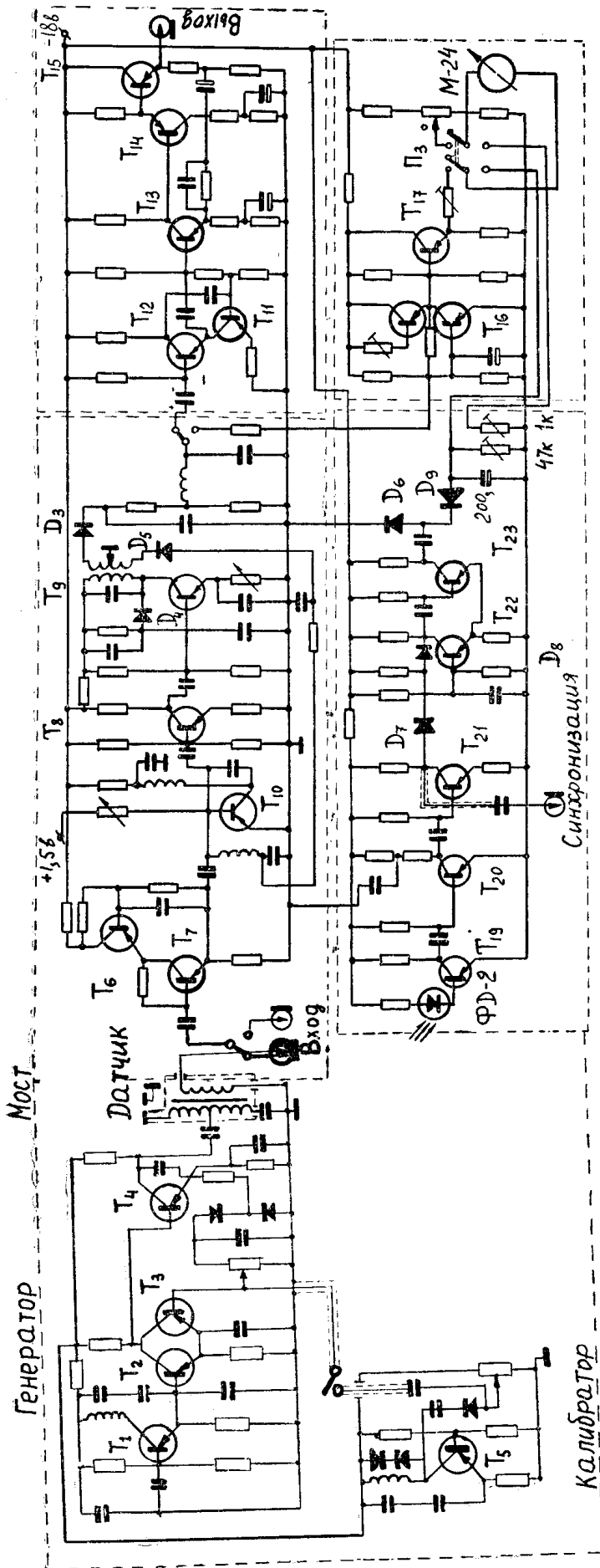


Рис. 2. Принципиальная схема профилометра

резонансного каскада так, что его выходное напряжение остается линейно зависящим от зазора вплоть до 0,12 мм.

На зазорах менее 0,12 мм, когда дальнейшая коррекция с помощью  $T_{10}$  становится невозможной, отпирается диод  $D_4$  и шунтирует контур резонансного усилителя, снижая его коэффициент усиления и тем самым спрямляя характеристику датчика.

Разработанная схема коррекции позволяет устранить погрешность измерений, обусловленную нелинейностью характеристики датчика.

Амплитудный детектор  $D_3$  выполнен по обычной однополупериодной схеме с открытым входом и работает на линейном участке характеристики детектирования во всем диапазоне измеряемых отклонений.

Нагрузкой детектора является эмиттерный повторитель  $T_{11}$ ,  $T_{12}$ , имеющий высокое входное сопротивление и обеспечивающий постоянство сопротивления нагрузки детектора как по постоянному току, так и по току видеочастоты.

Нагрузкой эмиттерного повторителя является видеоусилитель  $T_{13}$ — $T_{15}$ . Основное требование, предъявляемое к нему, — воспроизведение широкого спектра частот с малыми частотными искажениями. Цепь отрицательной обратной связи, охватывающая весь усилитель, обеспечивает постоянство коэффициента усиления с точностью 1% в диапазоне частот от 10 до  $2 \cdot 10^5$  гц. Это обеспечивает малую погрешность измерений как низкочастотных, так и высокочастотных составляющих профиля коллектора.

Для измерения профиля коллекторов в статике и установки начального зазора в схему прибора введен усилитель постоянного тока  $T_{16}$ — $T_{17}$ . Нагрузкой усилителя служит микроамперметр М-24. Регулировкой «компенсация» стрелка выводится на отметку 50, что соответствует установочному зазору 200 мк. При измерениях профиля в статике цена большого деления 20, малого 4 мк.

Для удобства работы в схему профилометра введен блок синхронизации и измерения скорости вращения.

В качестве датчика используется фотодиод ФД-2, устанавливаемый рядом с емкостным датчиком. Одна из ламелей закрашивается тушью. При этом фотодиод реагирует на разность коэффициентов отражения от ламелей и выдает импульс фототока на вход усилителя  $T_{19}$ — $T_{21}$ , с выхода которого усиленный импульс подается на синхронизацию осциллографа.

Выбором ламели можно синхронизировать развертку осциллографа относительно любой ламели.

Импульс напряжения, снимаемый с  $T_{21}$ , ограничивается диодами  $D_7$ ,  $D_8$  и запускает триггер ( $T_{22}$ — $T_{23}$ ), который выдает на интегрирующую цепочку, состоящую из диодов  $D_6$ ,  $D_9$ , емкости 200,0 и резисторов 47 к, 1 к, импульсы длительностью 500 мк сек и амплитудой 5 в. При подключении индикатора на 100 мкА тумблером  $P_3$  в интегрирующую цепочку отклонение стрелки пропорционально скорости вращения.

Цена большого деления при этом составляет 1000 об/мин, малого— 200 об/мин.

При необходимости диапазон измеряемых скоростей может быть расширен путем введения в интегрирующую цепочку дополнительных элементов, а точность отсчета увеличена разбиением скоростей по поддиапазнам.

Профилометр питается от стабилизированного источника — 18 в.

Конструктивно профилометр выполнен в виде малогабаритного переносного прибора размерами 350·150·175 мм (рис. 3). Основные технические данные прибора следующие: пределы измеряемых отклонений

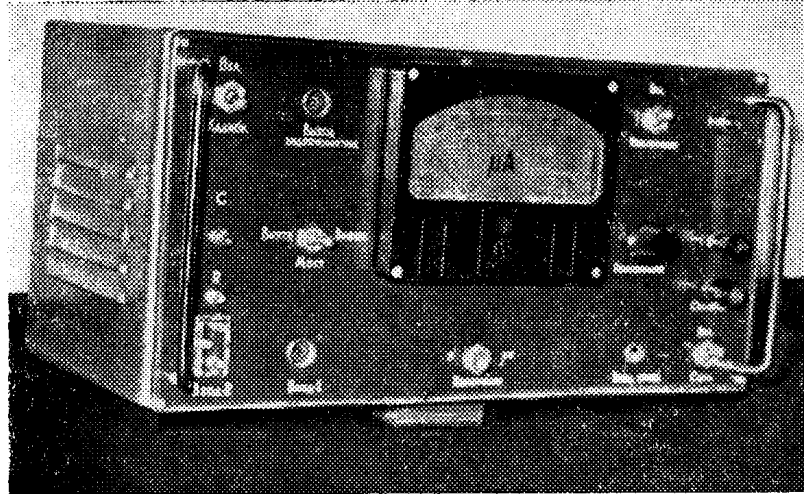


Рис. 3

профиля ( $200 \pm 150 \mu\text{к}$ ); чувствительность прибора  $50 \frac{\text{mV}}{\mu\text{к}}$ ; погрешность измерений профиля в статике на шкале  $200 \mu\text{к}$  не более 3%; погрешность установки рабочего зазора 1%.

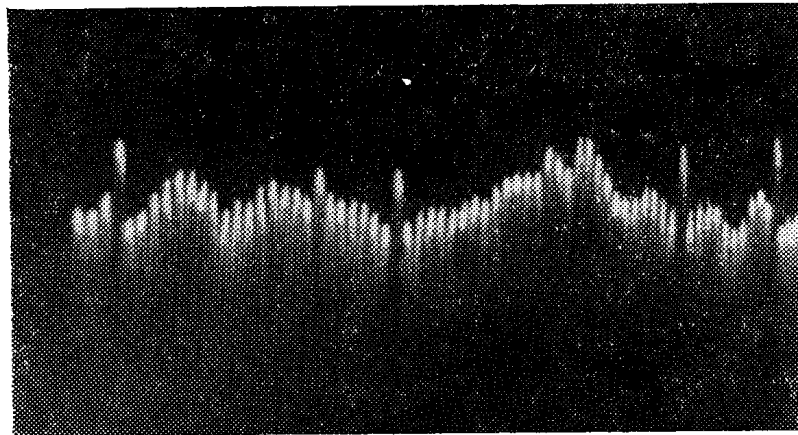


Рис. 4

Типичная осциллограмма профиля коллектора приведена на рис. 4, из которой видно, что прибор обладает высокой чувствительностью к весьма малым нарушениям профиля, высокой разрешающей способностью, позволяющей различать как групповые выступания, так и выступания отдельных ламелей.