



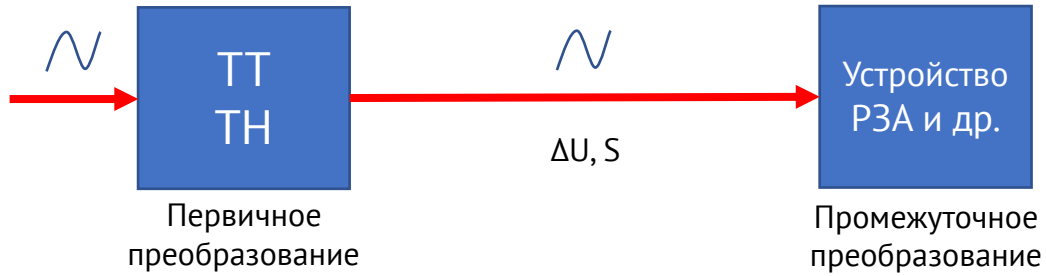
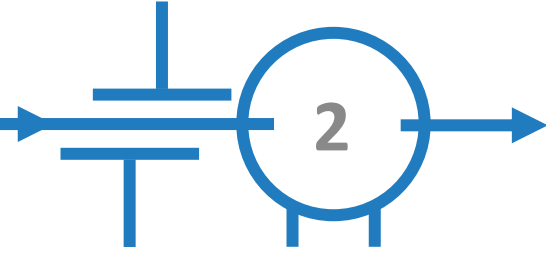
«Трансформатор комбинированный измерительный ЕСИТ,  
особенности и характеристики встроенного  
высоковольтного датчика напряжения»

***Ульянов Д.Н., Андреев П.И., Хромцов Е.И., Плакидин Р.С.***

*ООО «Инженерный центр «Энергосервис»*

Научно-практическая конференция  
«Измерительные трансформаторы тока»  
Москва, 23 ноября 2022 г.

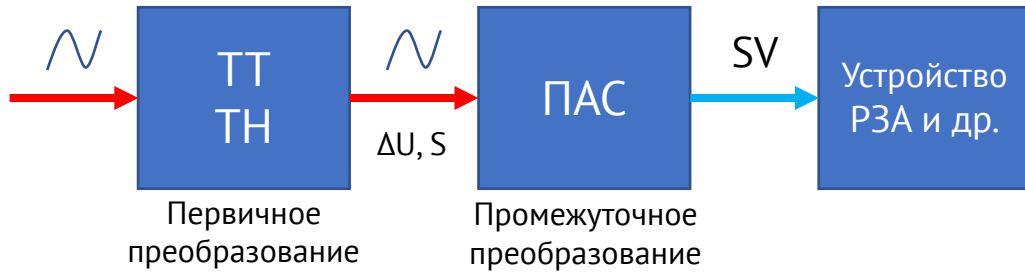
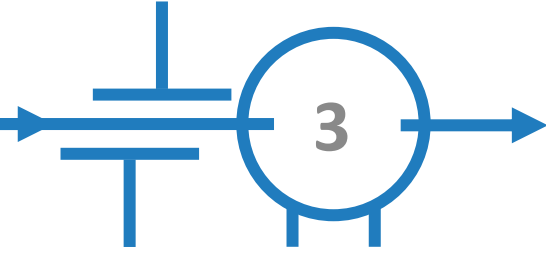
# Измерительный канал, варианты построения



- ✓ Включает в себя множество функций влияния:
  - отклонение от номиналов ТТ и ТН;
  - параметры вторичных цепей (нагрузка, потери напряжения и пр.

\* - Потребность в множестве отдельных вторичных выводов ТТ и ТН под измерительные устройства различного назначения и функционала.

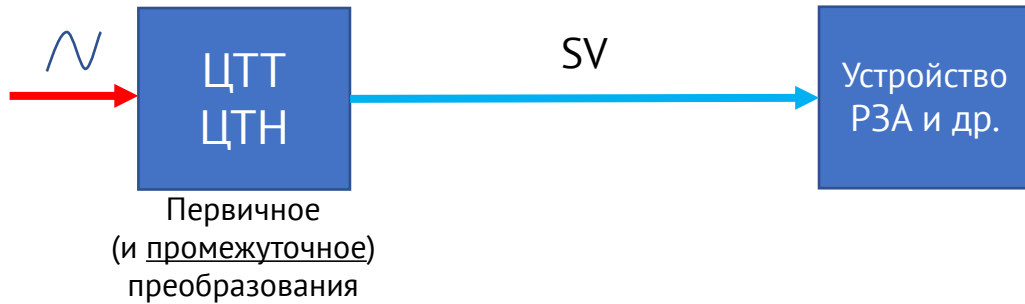
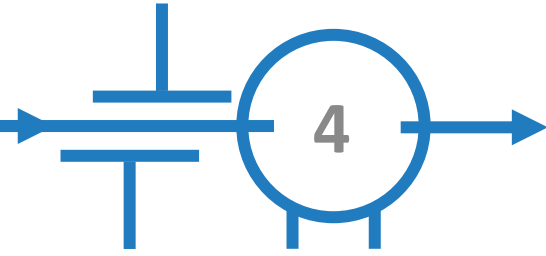
# Измерительный канал, варианты построения



- ✓ Остается влияние вторичных цепей на погрешность измерений.
- ✓ Снижение надежности измерительного канала.
- ✓ Высокая стоимость.

\* - Потребность в множестве ПАС под различные по классу точности вывода ТТ и ТН.

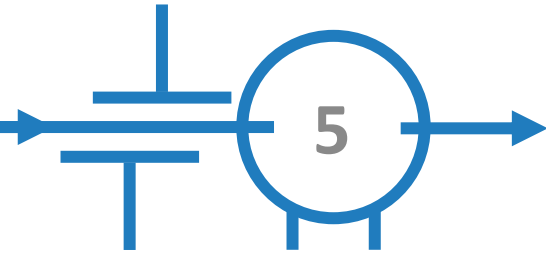
# Измерительный канал, варианты построения



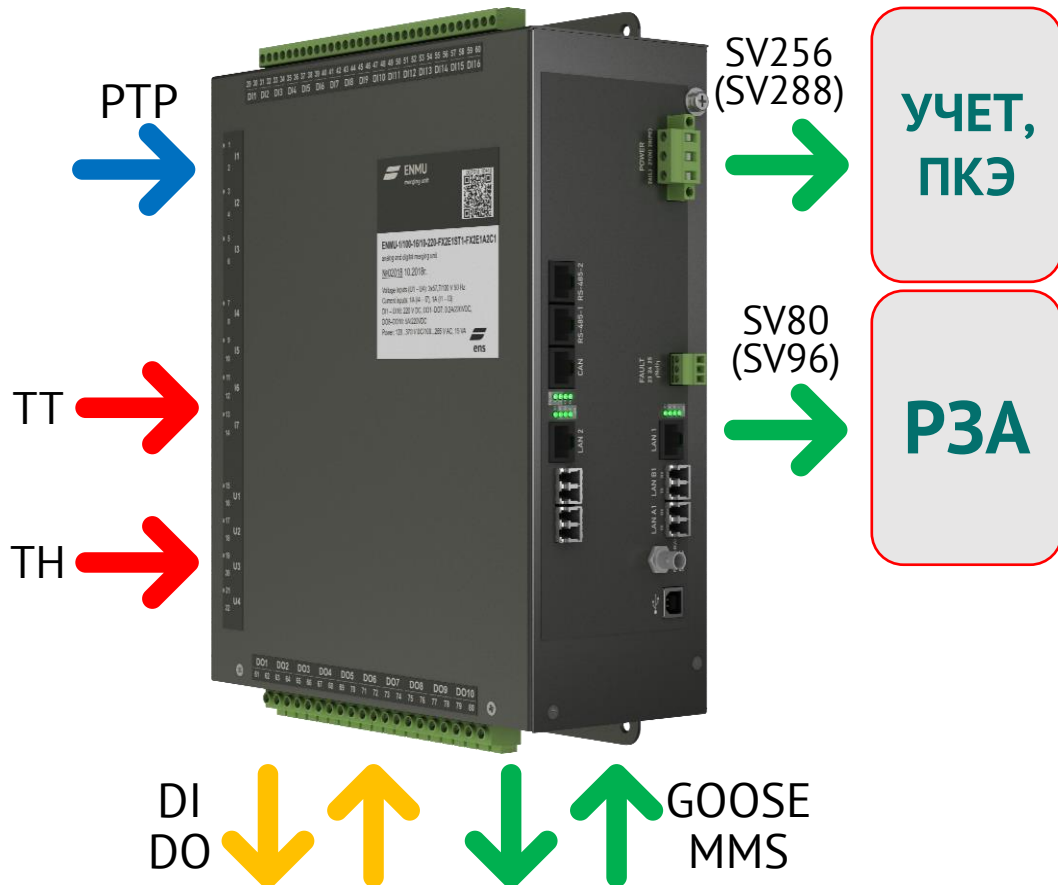
- ✓ Зависимость от стороннего гарантированного электропитания.
- ✓ Сложная сетевая структура передачи данных.
- ✓ Высокая стоимость на классы 110 кВ и выше.

\* - Применение комбинированных ЦТТ и ЦТН экономически оправдано на 6-10 кВ

# Комбинированный ПАС



## ENMU



ПАС и ПДС (СТО ФСК)  
SAMU (IEC 61869-13)

Измерение параметров режима сети  
Выдача до 4 SV-потоков  
Функции УСВИ, ПАС

Сигнализация и управление (вход/выход, GOOSE, MMS)  
Синхронизация времени по PTPv2

ФИФ №73811-19  
МПИ 16 лет



### ЦПС

IEC 61850-9-2  
IEC 61850-8-1  
IEC 62439-3 PRP

### Передача данных

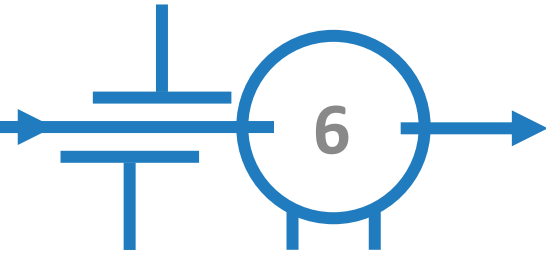
МЭК 60870-5-101/104  
MODBUS RTU/TCP  
FTP, SNMP

### Соответствие стандартам

IEC 61869-6  
IEC 61869-9  
IEC 61869-13

### Синхронизация времени

IEEE 1588-2008 (PTPv2)  
МЭК 61850-9-3



## Опыт эксплуатации комбинированных ПАС

Внесен в реестр в 2019 году.

Серийно произведено более **300** устройств.

ПС 110/10/6 кВ «Десна»

ПС 220 кВ «Магистральная»

ПС 110/20 кВ «Медведевская»

ПС 35/10 кВ «Молочное»

ПС 500 кВ «Тобол»

ПС 110/6 кВ «Уват»

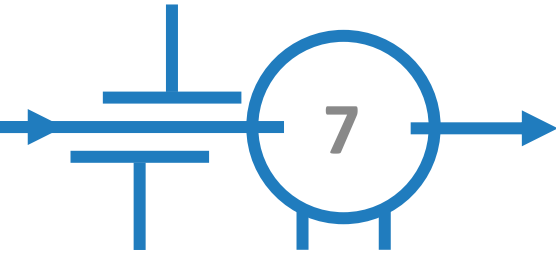
...







# Трансформатор комбинированный измерительный ЕСИТ

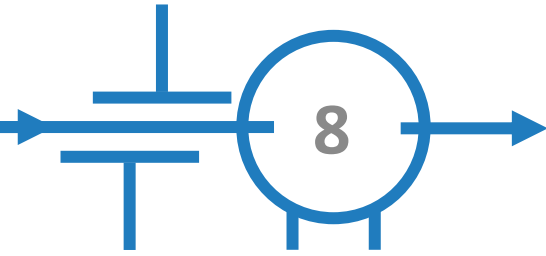


Наименование характеристики	Значение
Номинальная частота $f$ , Гц	50
Класс напряжения, кВ	10
Наибольшее рабочее напряжение $U_{нр}$ , кВ	12
Наибольший рабочий ток $I_{нр}$ , А	1250
Ток трехсекундной термической стойкости $I_{th}$ , кА	31,5
Ток электродинамической стойкости $I_{dyn}$ , кА	80
Количество измеряемых фаз	1
Значение частоты дискретизации*, Гц	4000; 4800; 12000; 12800; 14400; 16000
Тип входа синхронизации времени	1PPS; PTP

\* - в соответствии с требованиями МЭК 61850-9-2LE (IEC 61850-9-2)



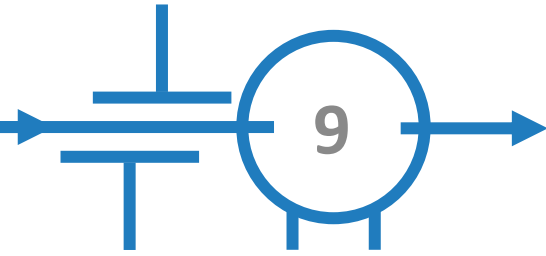
Предназначен для работы на присоединениях в качестве трансформатора напряжения с номинальным значением напряжения от  $3000/\sqrt{3}$  до  $11000/\sqrt{3}$  В по ГОСТ 1983.



Наименование характеристики	Значение
Номинальное напряжение переменного тока $U_{\text{НОМ}}$ , В	$11000/\sqrt{3}$
Класс точности по напряжению для измерений в диапазоне от $0,2 \cdot U_{\text{НОМ}}$ до $1,2 \cdot U_{\text{НОМ}}$ согласно ГОСТ 1983 (ГОСТ Р МЭК 60044-7)	0,5
Номинальный коэффициент перенапряжения $F_v$	1,9/8
Класс точности по напряжению для защиты в диапазоне от $0,005 \cdot U_{\text{НОМ}}$ до $1,9 \cdot U_{\text{НОМ}}$ согласно ГОСТ 1983 (ГОСТ Р МЭК 60044-7)	3P





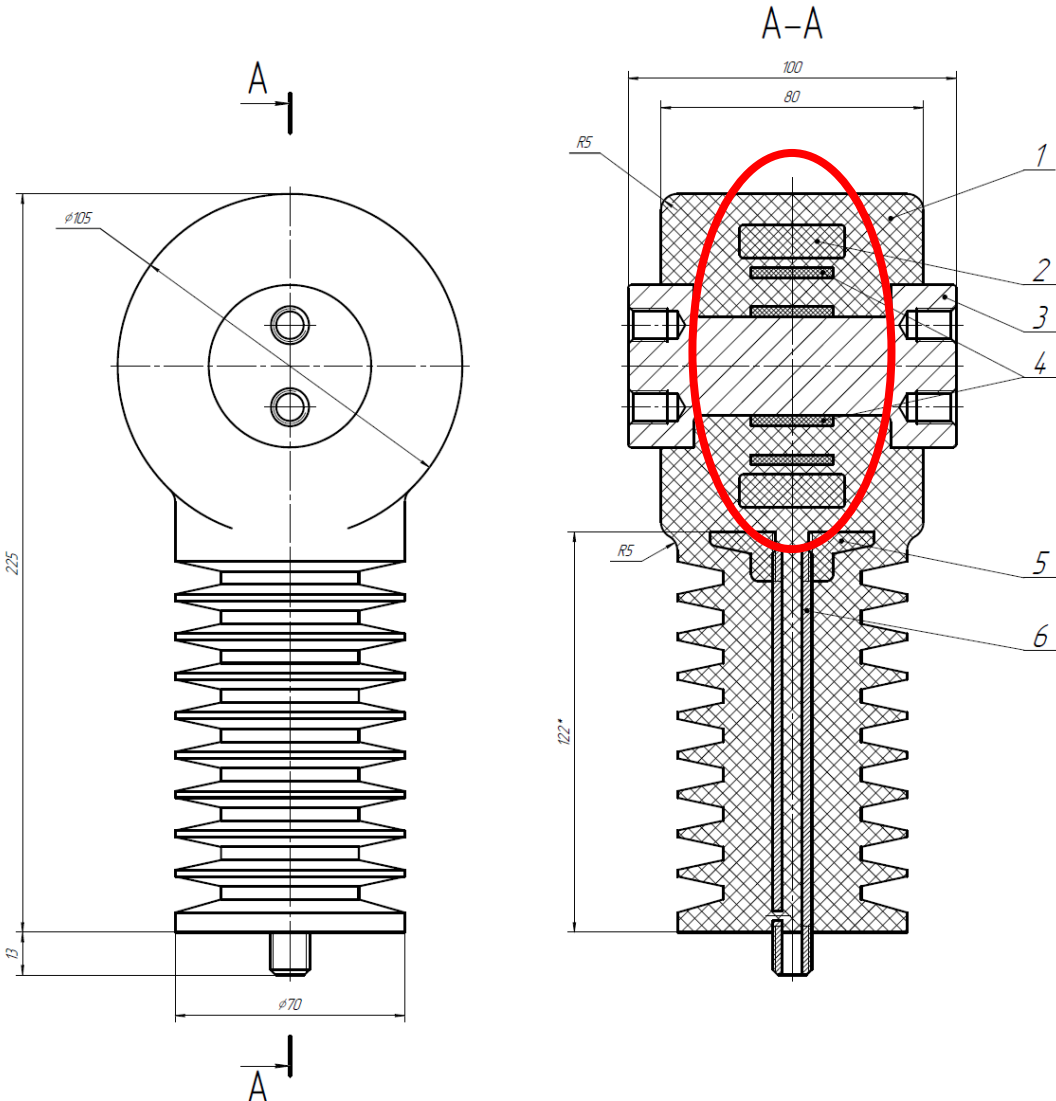
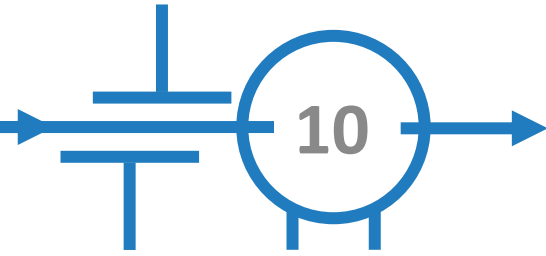


Предназначен для работы на присоединениях в качестве трансформатора тока с номинальным значением силы тока от 100 до 1250 А по ГОСТ 7746.

Наименование характеристики	Значение
Номинальный первичный ток $I_{ном}$ , А	100
Номинальный коэффициент превышения первичного тока $K_{пр}$	12,5
Номинальный расширенный первичный ток $I_{епр}$	1250
Класс точности по току для измерений согласно ГОСТ 7746 (ГОСТ Р МЭК 60044-8)	0,5S
Номинальный коэффициент предельной кратности $K_{ssc}$	300
Класс точности по напряжению для защиты согласно ГОСТ 7746 (ГОСТ Р МЭК 60044-8)	5P



# Комбинированный датчик тока и напряжения ЕСИТ

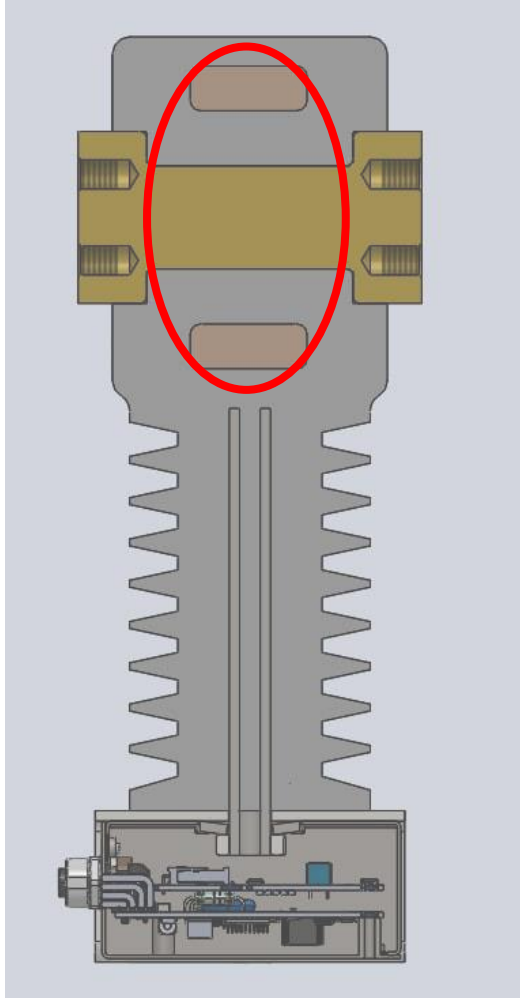
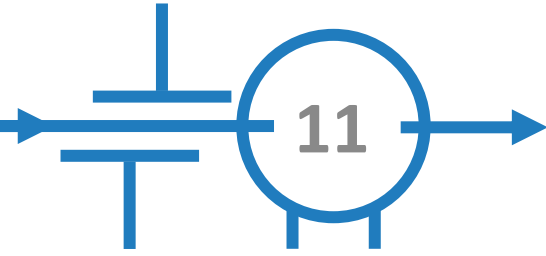


- ✓ Датчик тока – катушка Роговского:
- + отсутствие насыщения и остаточной намагниченности;
- + широкий диапазон преобразования входного сигнала.

Какие сложности приходится учитывать при применении катушки Роговского:

- минимизация угловой погрешности от производной выходного сигнала;
- влияние сторонних электромагнитных полей при низком уровне первичного сигнала;
- влияние температуры;
- не пропускание постоянной составляющей.

## Комбинированный датчик тока и напряжения ЕСІТ

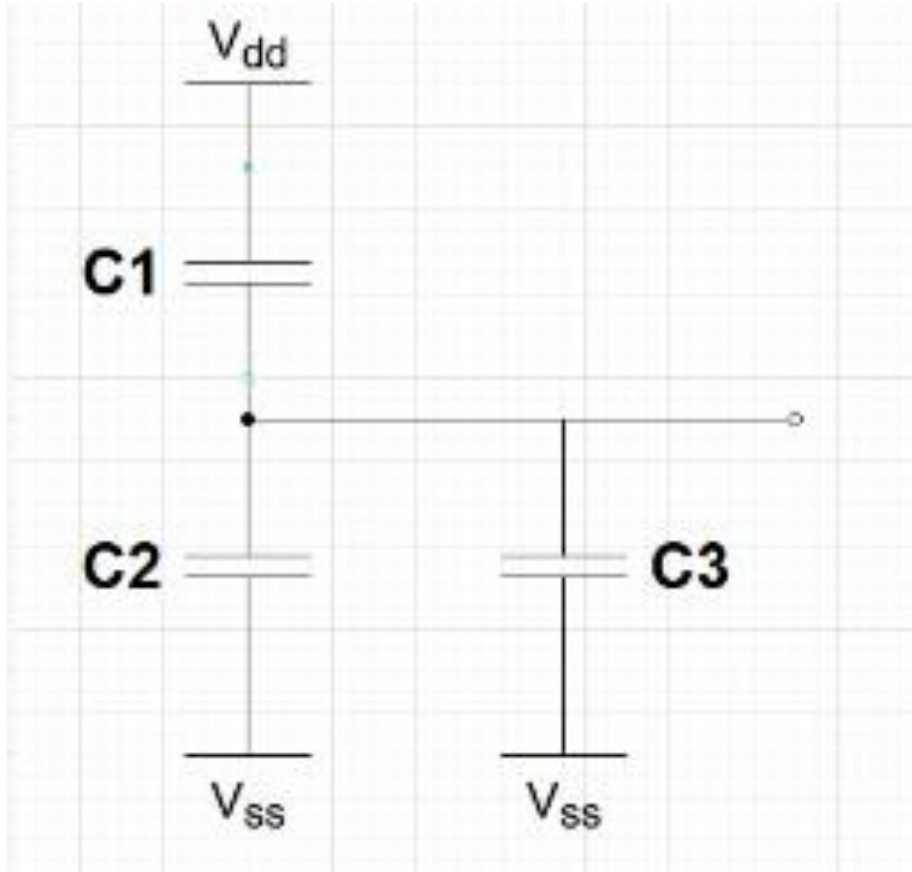


- ✓ Датчик напряжения – емкостной делитель с компенсацией нелинейных эффектов:
- + отсутствие резонансных явлений;
- + широкий диапазон преобразования входного сигнала.

Какие сложности приходится учитывать при применении емкостного делителя напряжения:

- минимизация угловой погрешности в широком линейном и частотном диапазоне;
- влияние сторонних электромагнитных полей;
- влияние температуры;
- обеспечение высокого уровня внутренней изоляции при малых габаритах;
- обеспечение электробезопасности.

## Определение параметров емкостного делителя

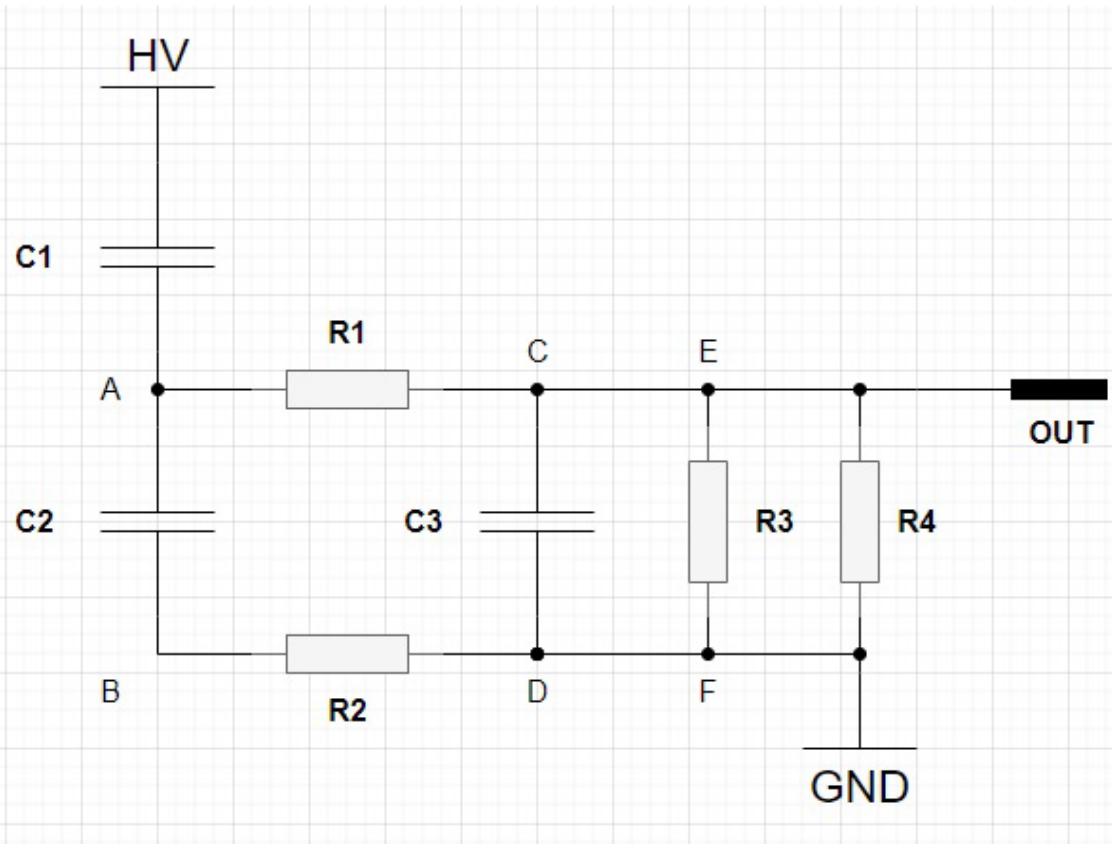


Идеальный емкостной делитель состоит только из емкостей. При решении уравнений он вырождается только в действительную часть. Поэтому сам по себе на угловую погрешность он не влияет.

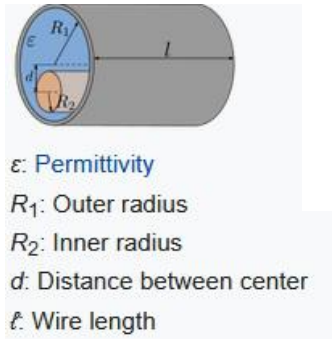
C1 на схеме - это емкость между токопроводом и сенсором (собственная емкость), C2 - паразитная емкость между экраном катушки и сенсором, C3 - емкостной шунт.

$$C(\varepsilon, d_1, d_2, l) = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot l}{\ln(d_2/d_1)}$$

# Предварительная модель емкостного делителя

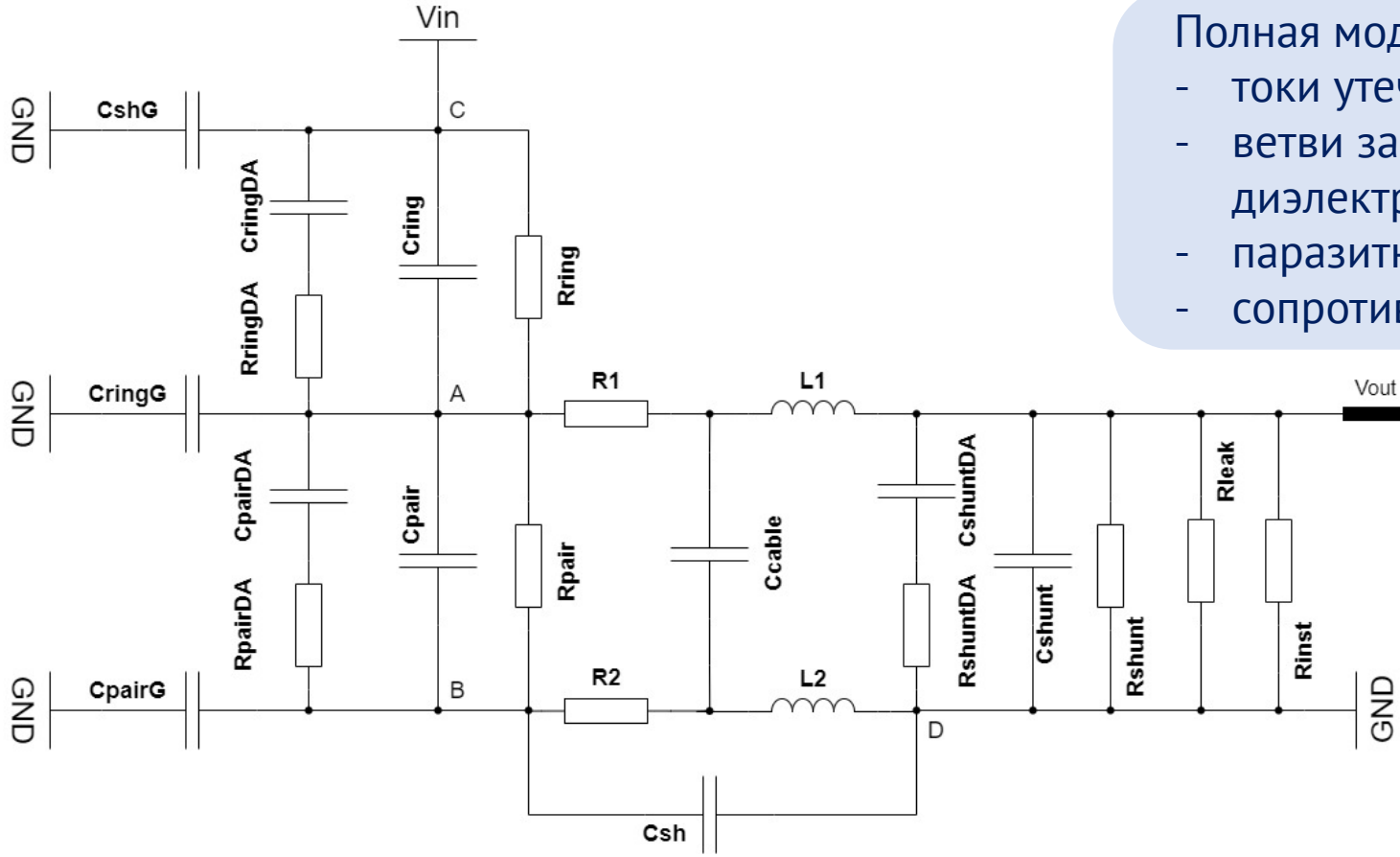


Для расчета емкостей используется формула эксцентричного конденсатора, так как она является более общей для цилиндрических конденсаторов. Основной изоляцией (диэлектриком) является компаунд – электротехнический полиуретан.



$$C(\epsilon, r_1, r_2, l, d) = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot l}{\operatorname{acosh}\left(\frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2 \cdot r_1 \cdot r_2}\right)}$$

# Полная модель емкостного делителя

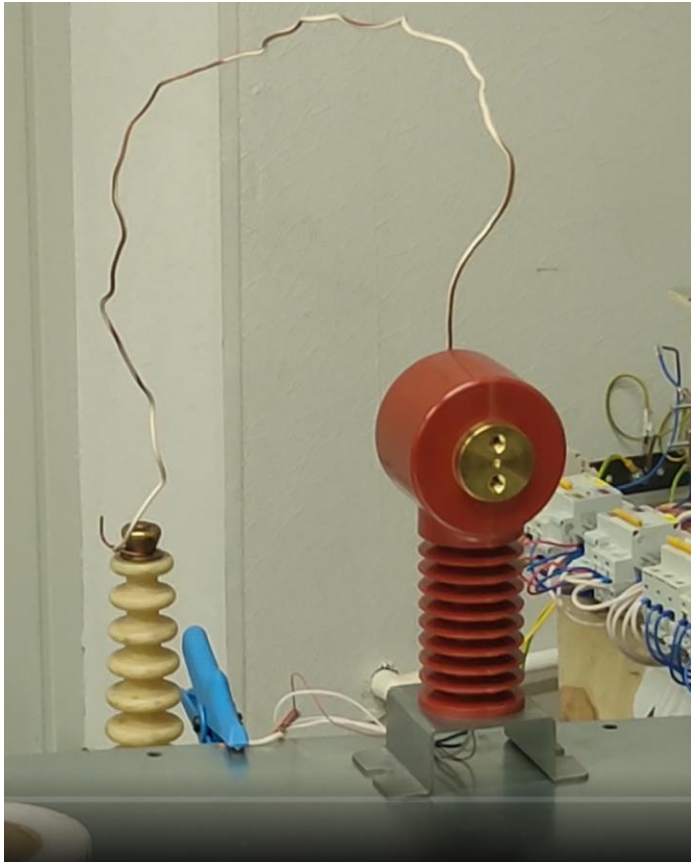
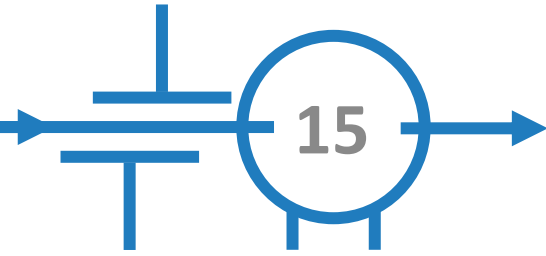


Полная модель учитывает

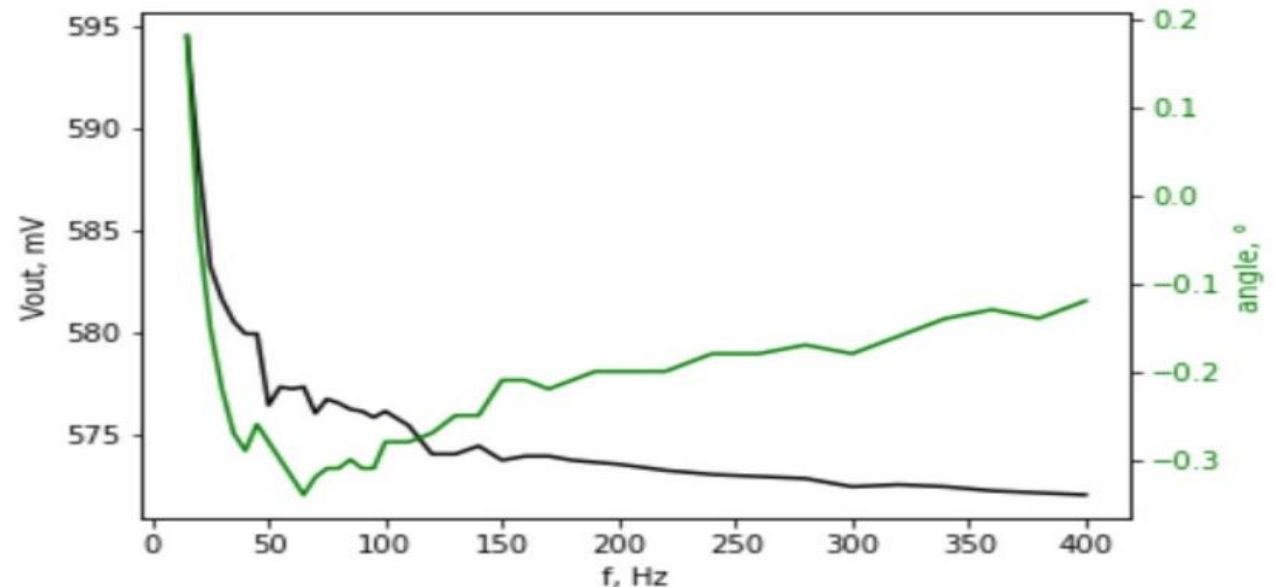
- токи утечки через диэлектрик;
- ветви замещения для учета эффекта диэлектрического поглощения (поляризация);
- паразитные емкости;
- сопротивления проводов.



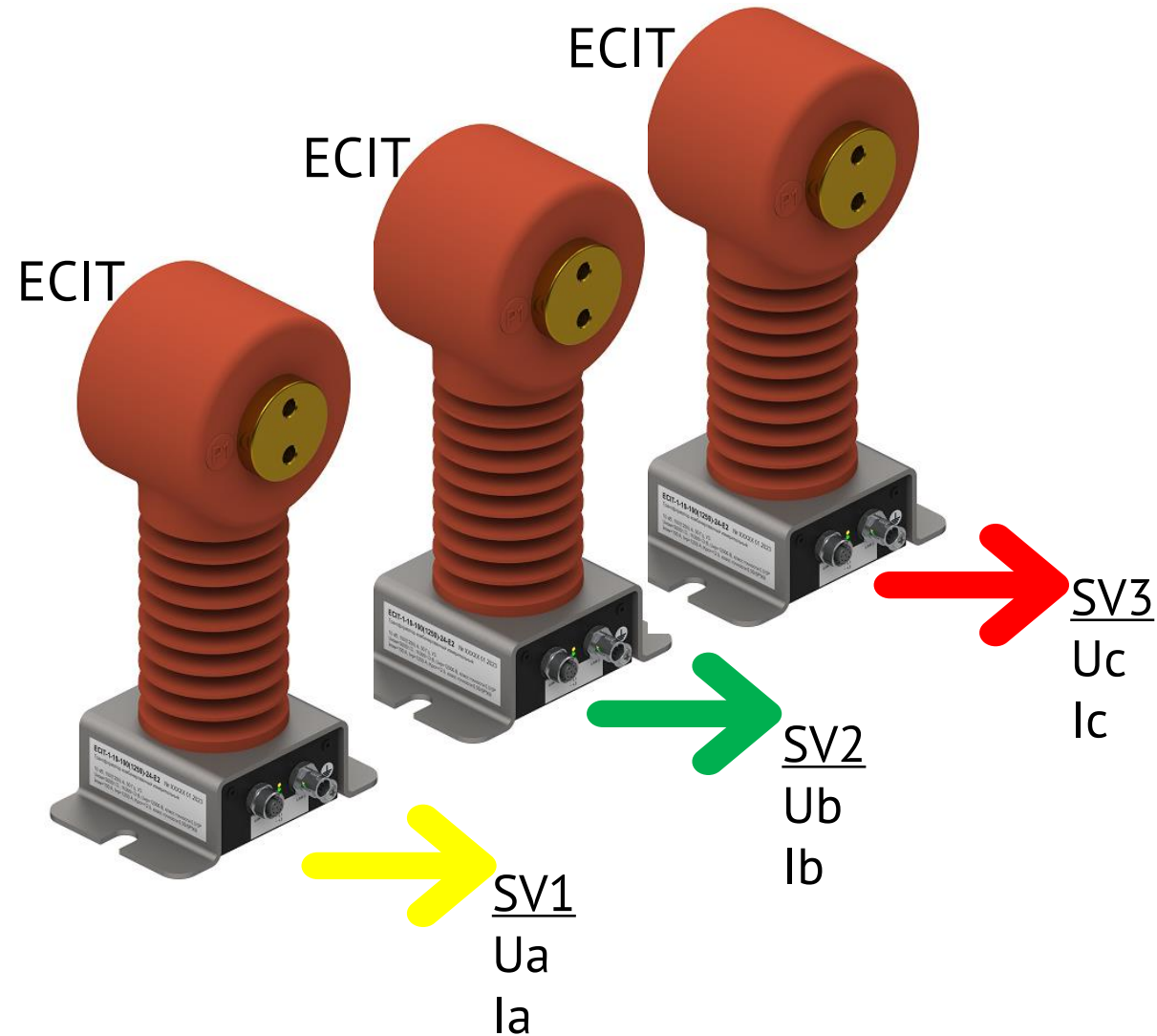
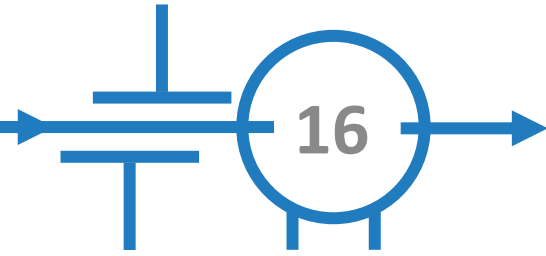
## Подтверждение расчетных характеристик



Моделирование емкостного делителя с учетом реальных свойств диэлектрика и особенностей конструкции датчика напряжения позволило определить необходимые параметры для согласования с аналогов-цифровой частью встроенного преобразователя с целью минимизации линейной и угловой погрешностей измерения напряжения в широком частотном диапазоне.



# Применение для РЗА, измерений и учета электроэнергии



## ESM-SV – счетчик, МИП, ПКЭ



-40 ... +70 C



- Учет электроэнергии  
0,2S/0,5, 16 лет;  
ГОСТ 31818.11-2012,  
ГОСТ 31819.22-2012, ГОСТ  
31819.23-2012
- Контроль ПКЭ  
ККЭ class A  
ГОСТ 32144-2013  
ГОСТ 30804.4.7-2013 (класс I)  
ГОСТ Р 8.655-2009  
ГОСТ 33073-2014  
ГОСТ Р 51317.4.15-2012  
(отчеты)  
МИП  
Измерение параметров сети  
До 50 гармоника

*Благодарю за  
внимание!*

*Приглашаем посетить наш стенд в  
57 павильоне ВДНХ, **A52***

*Ульянов Д.Н.,  
зам. генерального директора  
ООО "Инженерный центр "Энергосервис",  
[d.ulyanov@ens.ru](mailto:d.ulyanov@ens.ru), <http://www.enip2.ru>*

