

**МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»  
Факультет Радиотехнологий связи**

**Выпускная квалификационная работа  
на тему:  
Организация спецсвязи в действующих электросетях**

**Выполнил:  
Алехнович Р.С., РМ-82  
Научный руководитель:  
доцент, к.т.н Кравец Е.В.**

**Санкт-Петербург  
2022**

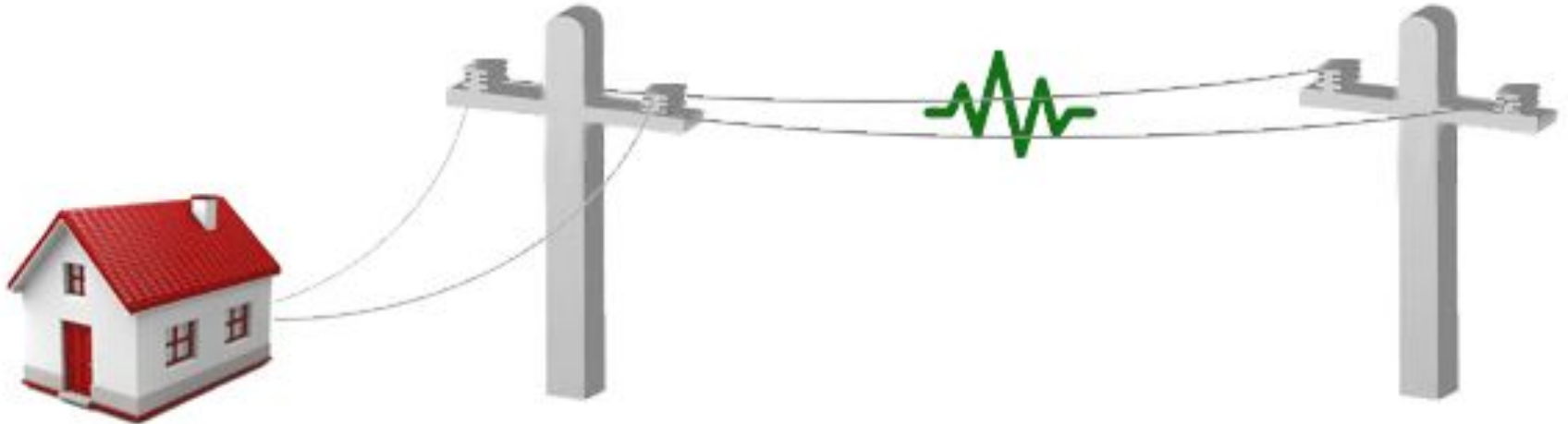
**Целью данного проекта является**  
разработка адаптера для передачи показаний приборов бытового учета по действующим электросетям

**Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:**

- провести анализ и особенности организации принципов построения PLC устройств для передачи данных в действующих электросетях;
- рассмотреть решения для абонентского доступа;
- определить требования к электромагнитной совместимости;
- произвести расчёт параметров фильтра адаптера.

# Актуальность исследования

- Технология PLC (Power Line Communications - коммуникации по силовым линиям), также называемая PLT (Power Line Telecoms), является проводной технологией, направленной на использование кабельной инфраструктуры силовых электросетей для организации высокоскоростной передачи данных и голоса.



# Преимущества PLC-технологии

- отсутствует необходимость в проводке специальных сетевых коммуникаций

- имеет широкий диапазон рабочих частот и при использовании необходимых видов модуляции имеет хорошую пропускную способность и скорость передачи данных

- благодаря применению последних алгоритмов шифрования обеспечивается безопасная передача данных

- технология проста в установке, скорость монтажа и быстрое развёртывание сети значительно ускоряет ввод в эксплуатацию

- универсальное оборудование, небольших размеров для любых систем локального сбора информации

- масштабировать такую сеть легко, возможно организовать практически любую топологию сети с небольшими затратами

- стабильная связь, не требующая настройки и регистрация оборудования, как радиочастотного

- в момент возникновения какого-то влияния на определённые частоты, в оборудовании PLC учтён механизм подавления сигнала в заданном диапазоне

- для организации канала связи требуется минимум технических средств, оборудование в процессе эксплуатации не требует технического обслуживания.



# Недостатки PLC-технологии

- пропускная способность сети по электропроводке разделяется между всеми её участниками

- если есть необходимость в специальных совместимых сетевых фильтрах, сигнал может ослабляться, проходя через многие сетевые разветвители-фильтры

- качество и скорость связи зависят от отрицательного влияния электробытовых приборов

- на стабильность и скорость связи отрицательно сказывается исполнение и качество электропроводки, т.к. изначально они не были спроектированы для передачи данных по ним

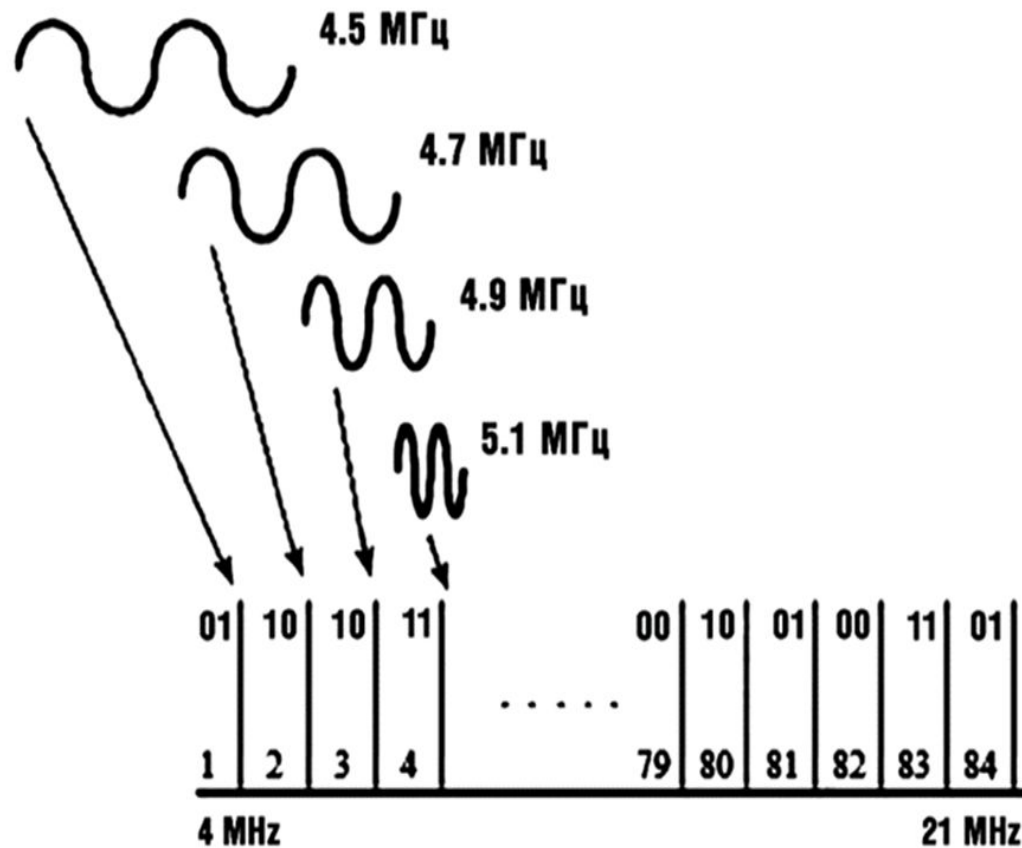
- уязвимость к помехам из общих электросетей и не соответствие нормам электромагнитной совместимости по приёму и по передаче сигналов

- до конца не решены правовые нормы использования этой технологии, что в свою очередь тормозит её развитие и область применения технологии сужается

# Суть PLC технологии

- В технологии PLC используются 1536 поднесущие частоты с выделением 84 наилучших в диапазоне 4-21 МГц.

Реализация ортогонального частотно - разделенного мультиплексирования в технологии передачи данных по электрической сети.



# Особенности реализации PLC-технологии

## Узкополосная передача информации (NPL)

*скорость до 1 Мбит/с,  
ширина спектра от 9 до 500 кГц*

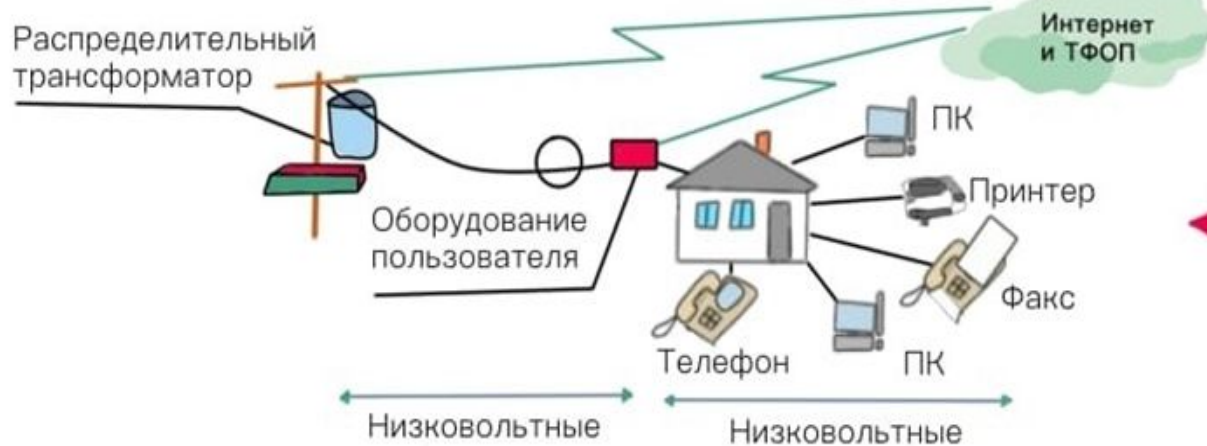
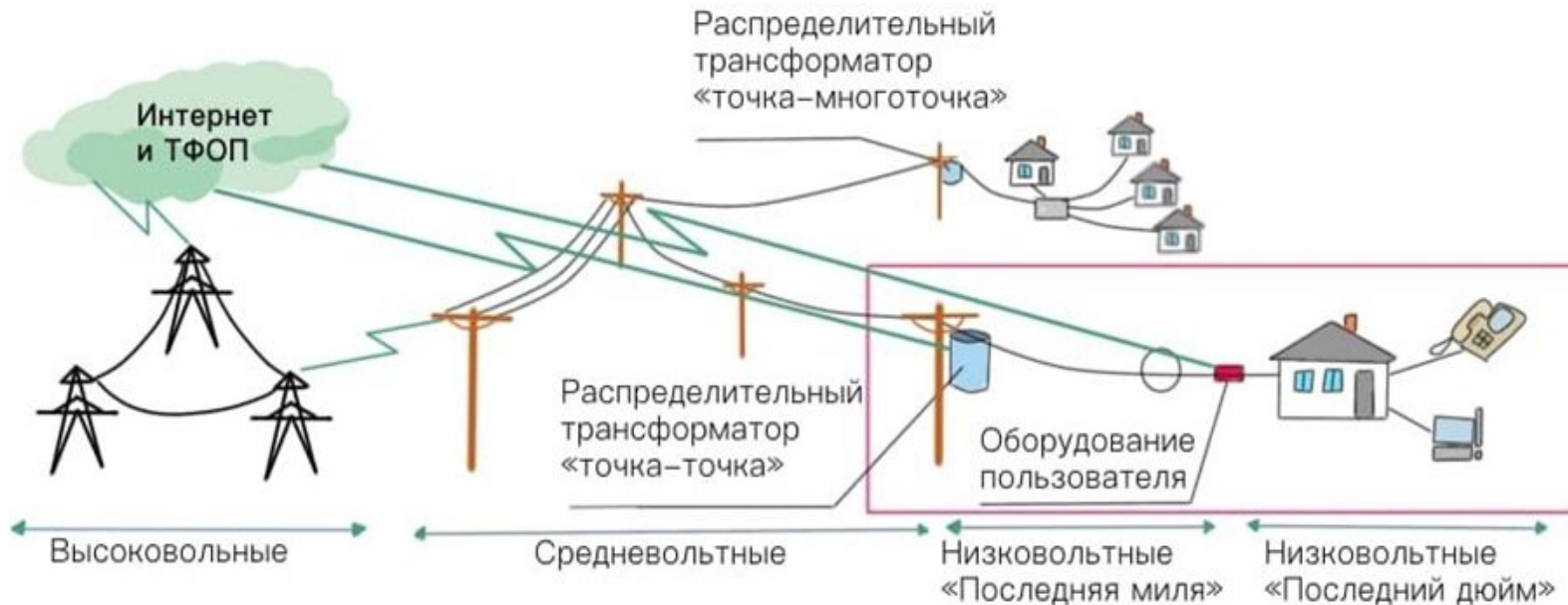
- автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП);
- автоматизированные системы контроля и учёта энергоресурсов (АСКУЭ);
- системы контроля и управления доступом (СКУД);
- охранно-пожарная система (ОПС);
- умный дом;
- диспетчеризация

## Широкополосная передача информации (BPL)

*скорость до нескольких сот Мбит/с,  
ширина спектра до 100 МГц*

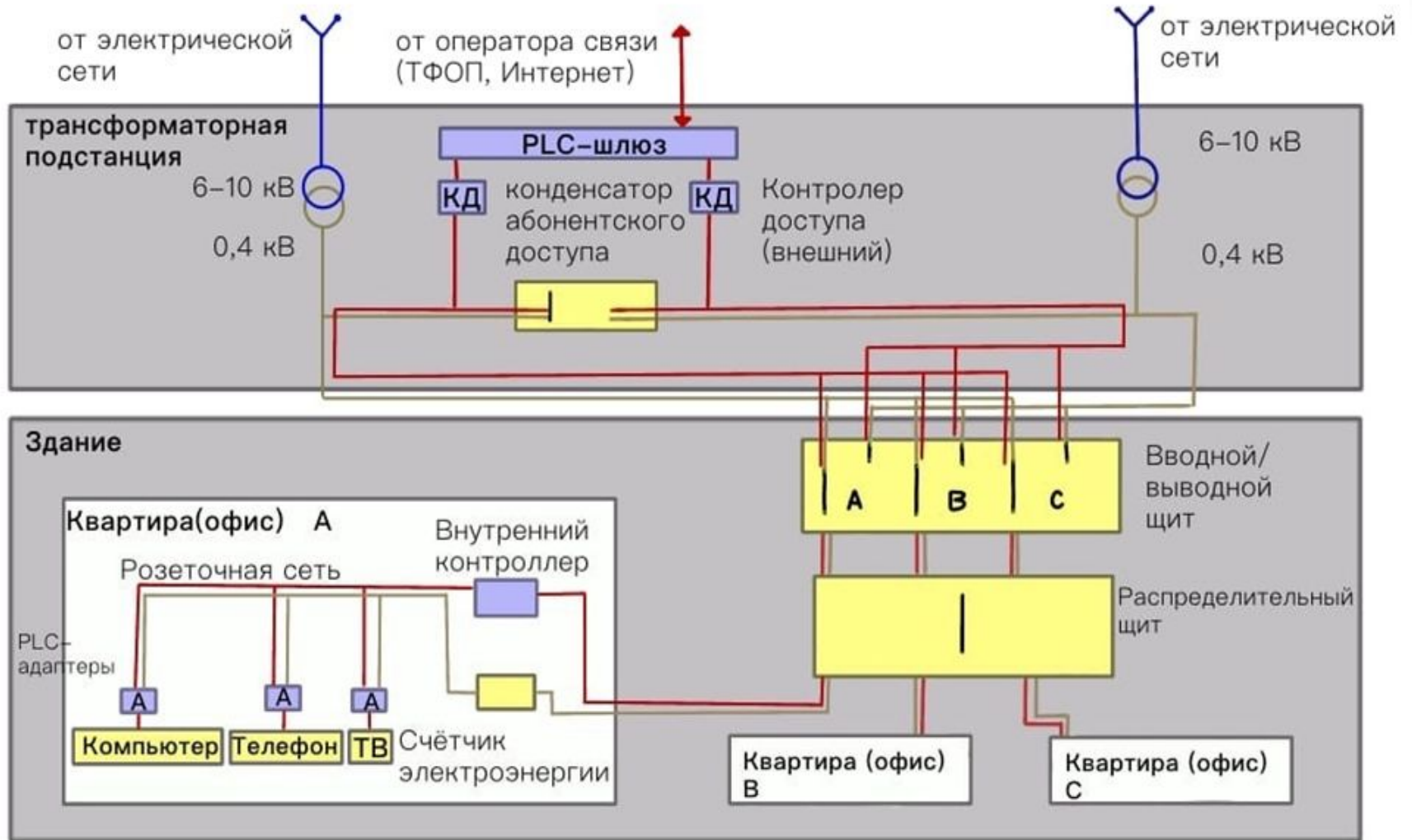
- построение локальных сетей;
- VoIP – IP - телефония;
- организация доступа в Интернет;
- видеонаблюдение;
- комплексные системы безопасности

# Классификация линий доступа по электросети





# Принцип построения сети абонентского доступа



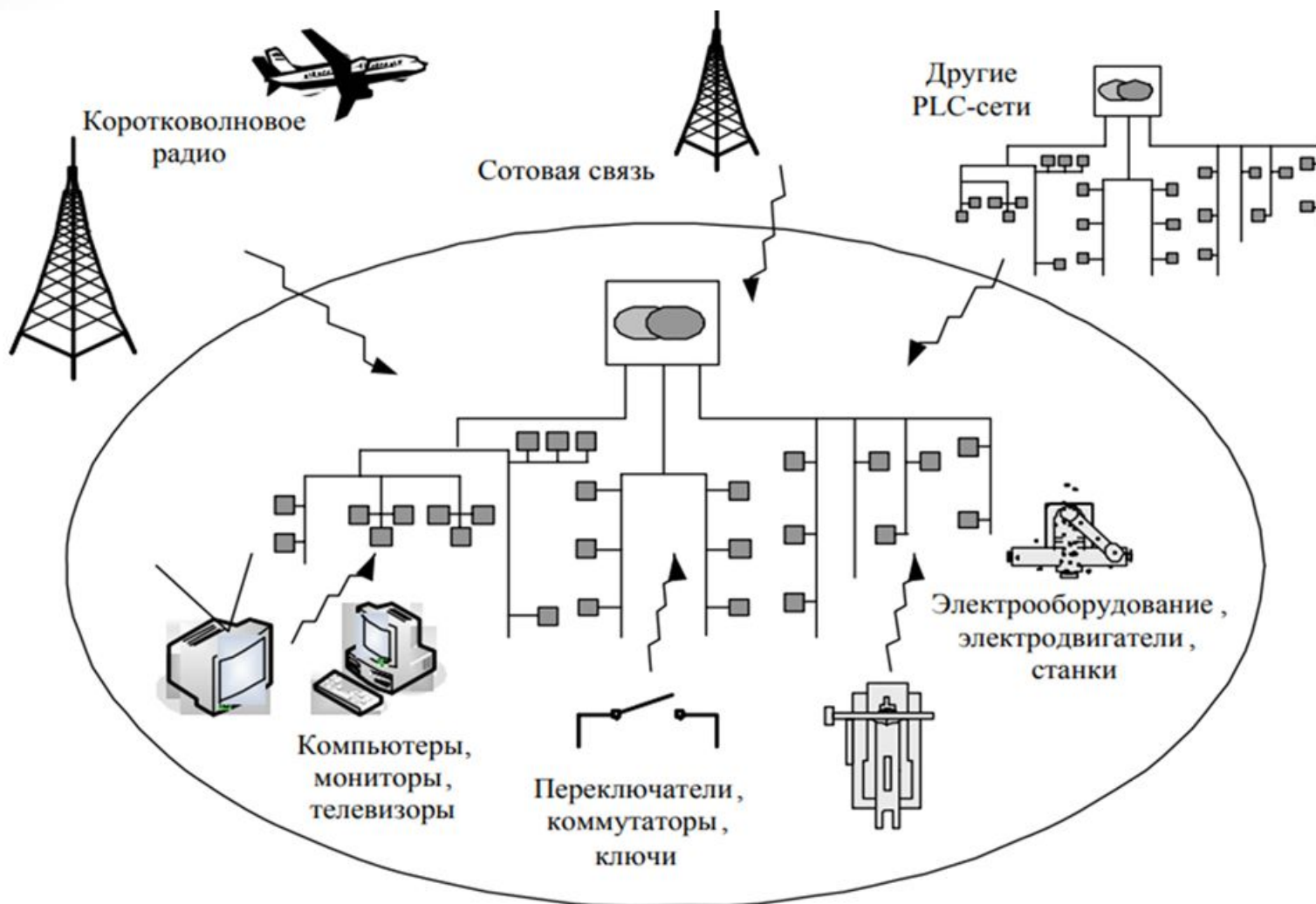
## Стандартизация технологии PLC

Стандарты	Диапазон частот	Модуляция	FEC	Скорость передачи
<b>G3</b>	35–91 кГц	OFDM (DQPSK, DBPSK)	RS, RC, CC	5,6–45 Кб/с
<b>PRIME</b>	42–89 кГц	OFDM (D8PSK, DPSK, DQPSK)	CC	21,4–128,6 Кб/с
<b>Homeplug AV2</b>	2–86 МГц	OFDM (QPSK)	Turbo CC	100–200 Мб/с
<b>X-10</b>	120 кГц	OnOffKeying	–	24–120 б/с
<b>LonWorks</b>	120–140 кГц	BPSK/NRZ	–	3,6–5,4 Кб/с
<b>KNX</b>	125–140 кГц	S-FSK/NRZ	–	1200 б/с
<b>G.hn</b>	80–100 МГц	OFDM (1-4096 QAM)	CC, RS	1–56 Мб/с
<b>IEEE 1901.1</b>	2–12 МГц	OFDM	RS, turbo CC, LDPC	<100 Мб/с

# Требования стандарта CENELEC в полосе частот 9-140 кГц

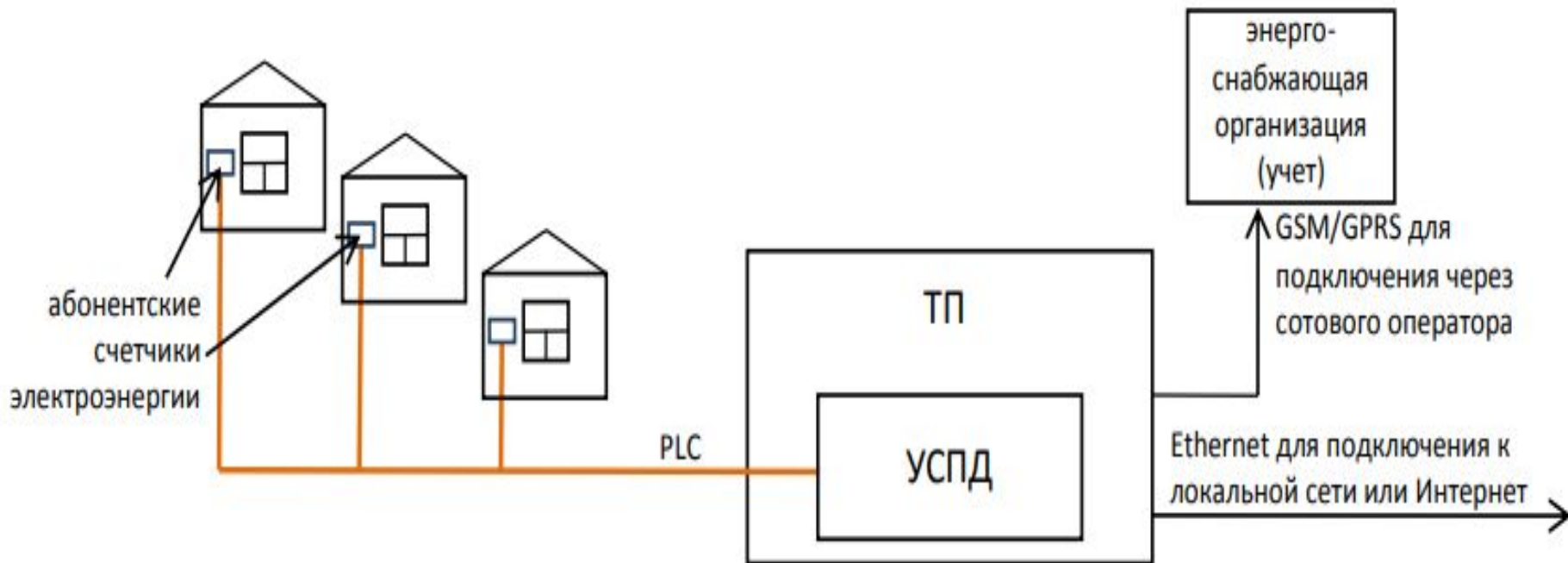
Диапазон	Полоса частот, Гц	Максимальная амплитуда передачи, В	Сфера использования
A	9...95	10	Энергоснабжение
B	95...125	1.2	Домашняя
C	125...140	1.2	Домашняя

# Структура источников помех, воздействующих на PLC-систему





# Схема построения АСКУЭ на основе PLC-технологии

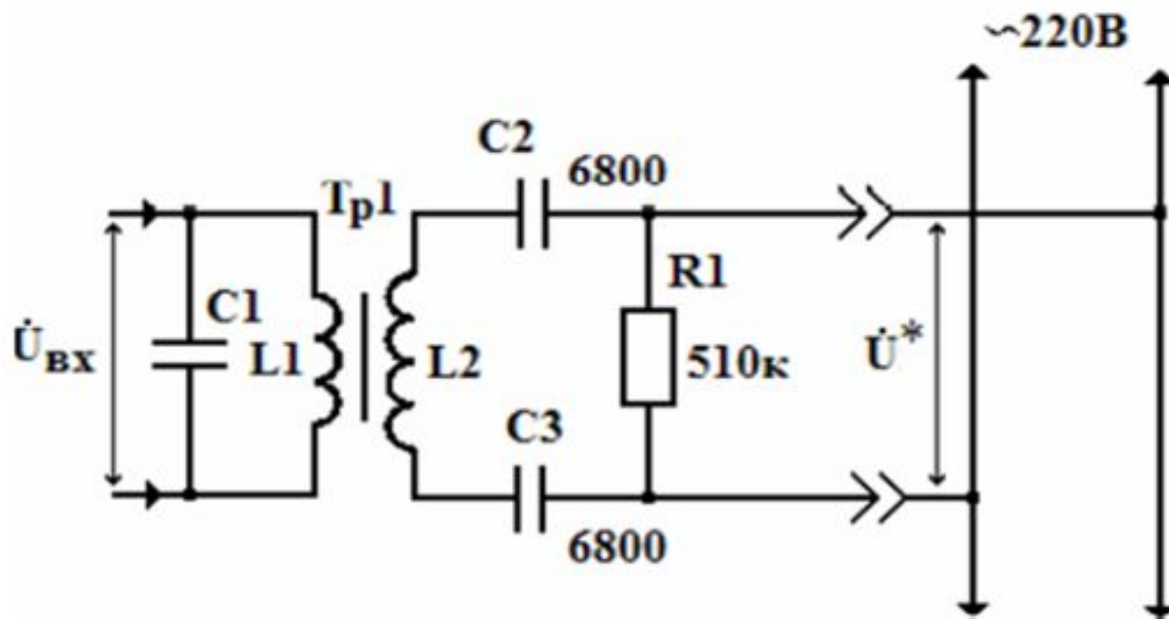


## Устройство измерения параметров сети



# Адаптер для ВЧ-аппаратуры PLC-технологий

## Принципиальная электрическая схема типового адаптера-передатчика



# Анализ параметров фильтра

Первая частота заграждения формируется обмоткой трансформатора L1 и конденсатором C1 – контур резонанса тока (параллельный контур).

Примем индуктивности обмоток трансформатора  $L1 = 1 \text{ мГн}$ .

$$f_{z1} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$$

Вторая частота заграждения – резонансная частота последовательного контура C2-L2-C3

$$f_{z2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2(C_2 + C_3)}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{10^{-3} \cdot (6800 + 6800) \cdot 10^{-6}}} \approx 50 \text{ Гц}$$

Так как необходимо фильтровать частоты 50-60 Гц, то  $f_{z1} = 60 \text{ Гц}$ , тогда

$$C_1 = \frac{1}{4\pi^2 L_1 f_{z1}^2} = \frac{1}{4\pi^2 10^{-3} \cdot 60^2} = 0.022 \text{ Ф} = 2200 \text{ мкФ}$$

Полоса заграждения такого фильтра – 50...60 Гц.

Полоса пропускания  $f_{\text{П}} = 60 \text{ Гц} - \infty$ .

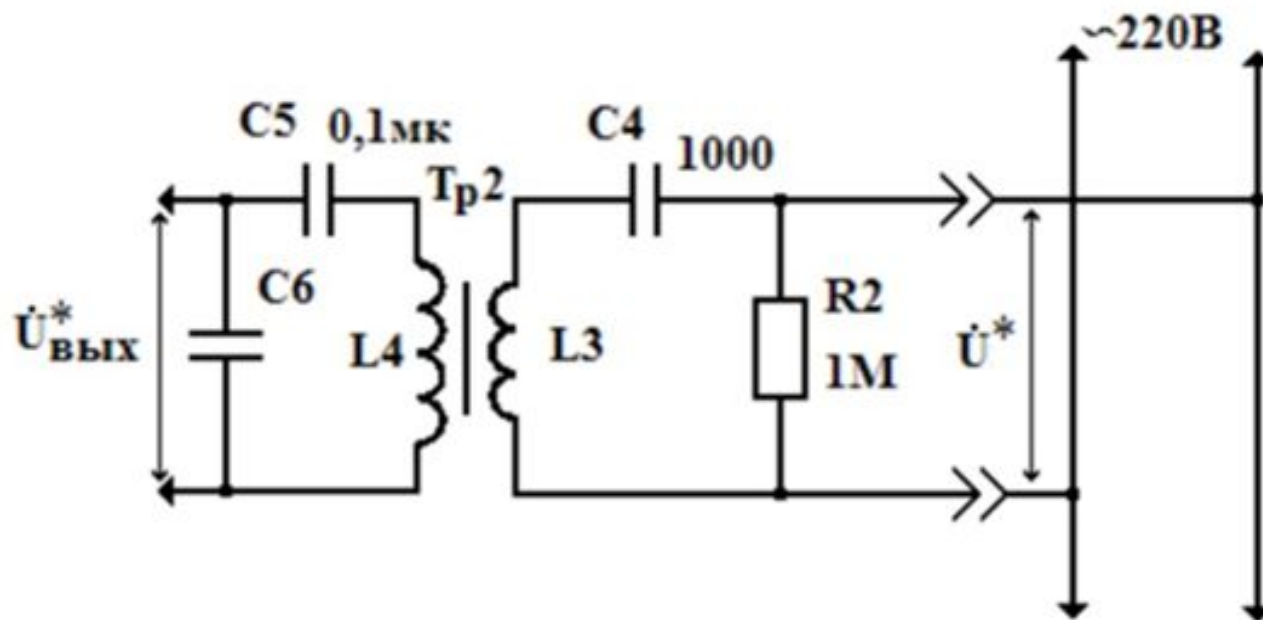
Так как фильтр является каскадным соединением двух фильтров второго порядка ( $k=2$ ), то коэффициент пульсаций такого фильтра

$$p = \left( \frac{k}{k^2 - 1} \right)^2 = \left( \frac{2}{2^2 - 1} \right)^2 = 0.44$$



# Адаптер для ВЧ-аппаратуры PLC-технологий

## Принципиальная электрическая схема типового адаптера-приёмника



# Анализ параметров фильтра

Первая частота заграждения формируется обмоткой трансформатора L3 и конденсатором C4 – контур резонанса тока (последовательный контур).

Примем индуктивности обмоток трансформатора L=1 мГн.

$$f_{c1} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_3 C_4}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{10^{-3} \cdot 1000 \cdot 10^{-6}}} \approx 160 \text{ Гц}$$

Вторая частота заграждения – резонансная частота параллельного контура C6-L4-C5

$$f_{c2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_4 (C_6 + C_5)}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{10^{-3} \cdot (1000 + 0.1) \cdot 10^{-6}}} \approx 160 \text{ Гц}$$

Так как частоты заграждения совпадают, то данный фильтр – режекторный 4-го порядка

Частота заграждения такого фильтра – 160 Гц.

Полоса пропускания  $f_{\text{П}}=161 \text{ Гц} - \infty$ .

Так как фильтр имеет четвертый порядок (k=4), то коэффициент пульсаций такого фильтра

$$p = \frac{k}{k^2 - 1} = \frac{4}{4^2 - 1} = 0,26$$

Спасибо за внимание!