

**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**

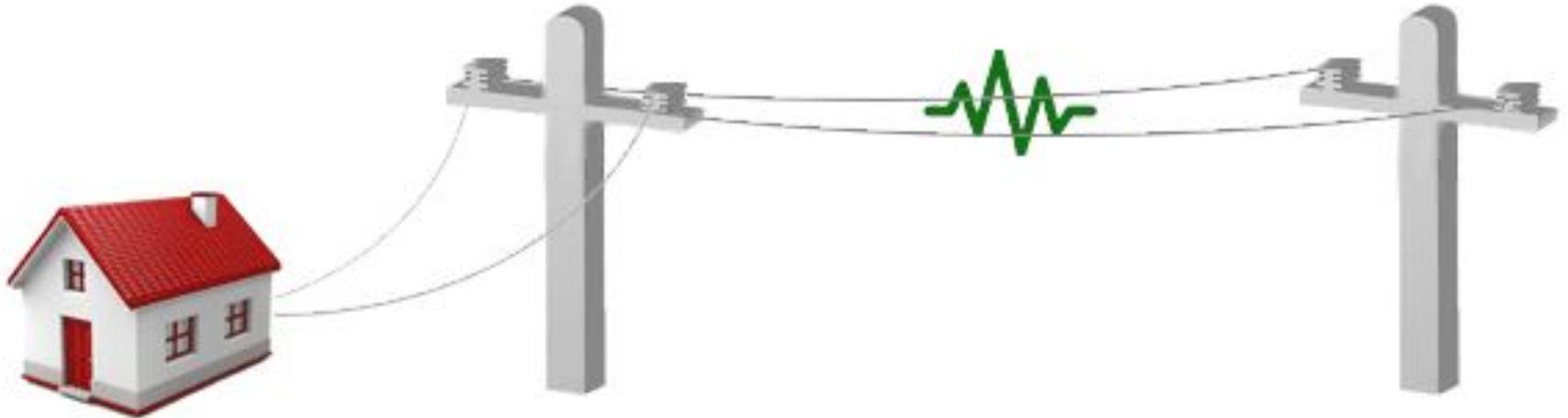
Целью данного проекта является
разработка адаптера для передачи показаний приборов бытового учета по действующим электросетям

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

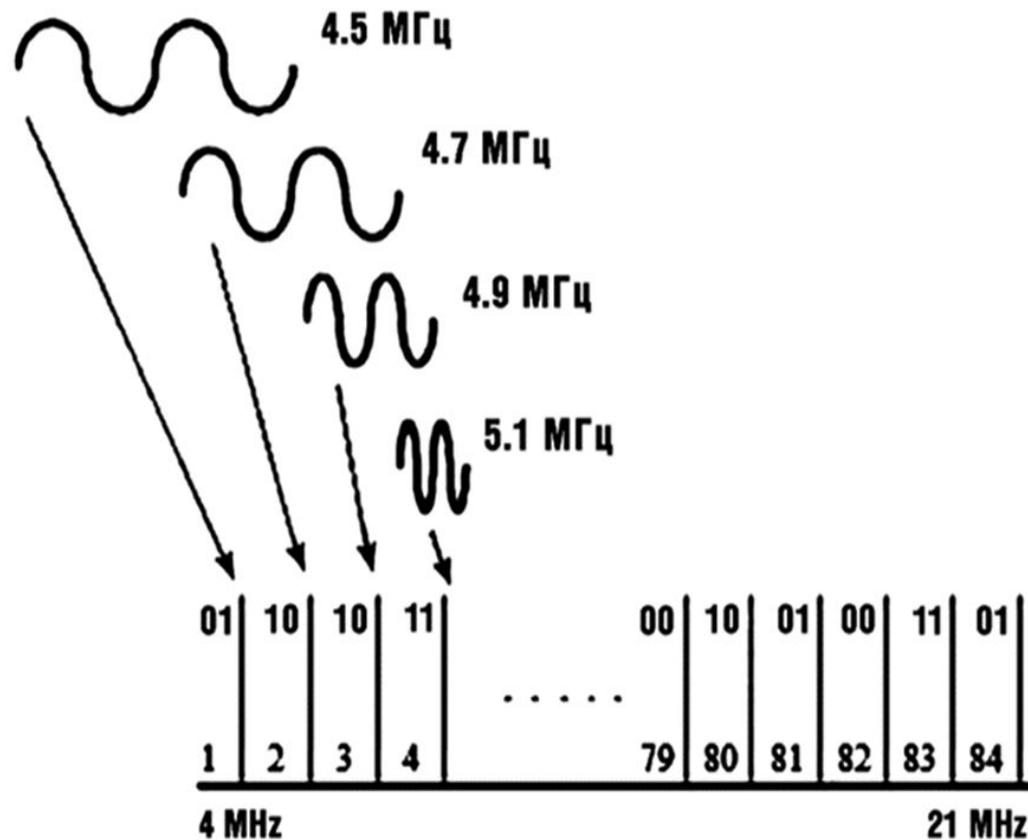
- уязвимость к помехам из общих электросетей и не соответствие нормам электромагнитной совместимости по приёму и по передаче сигналов

- 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*

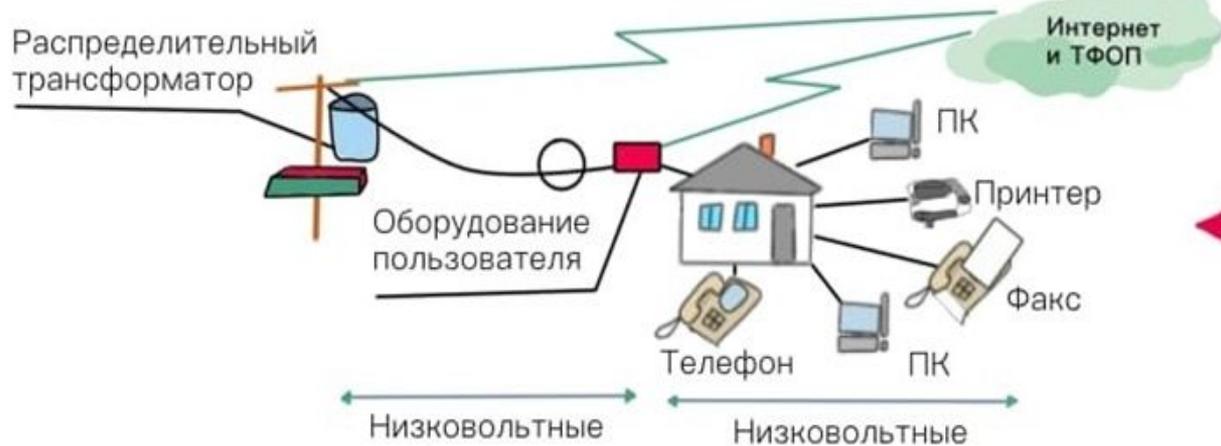
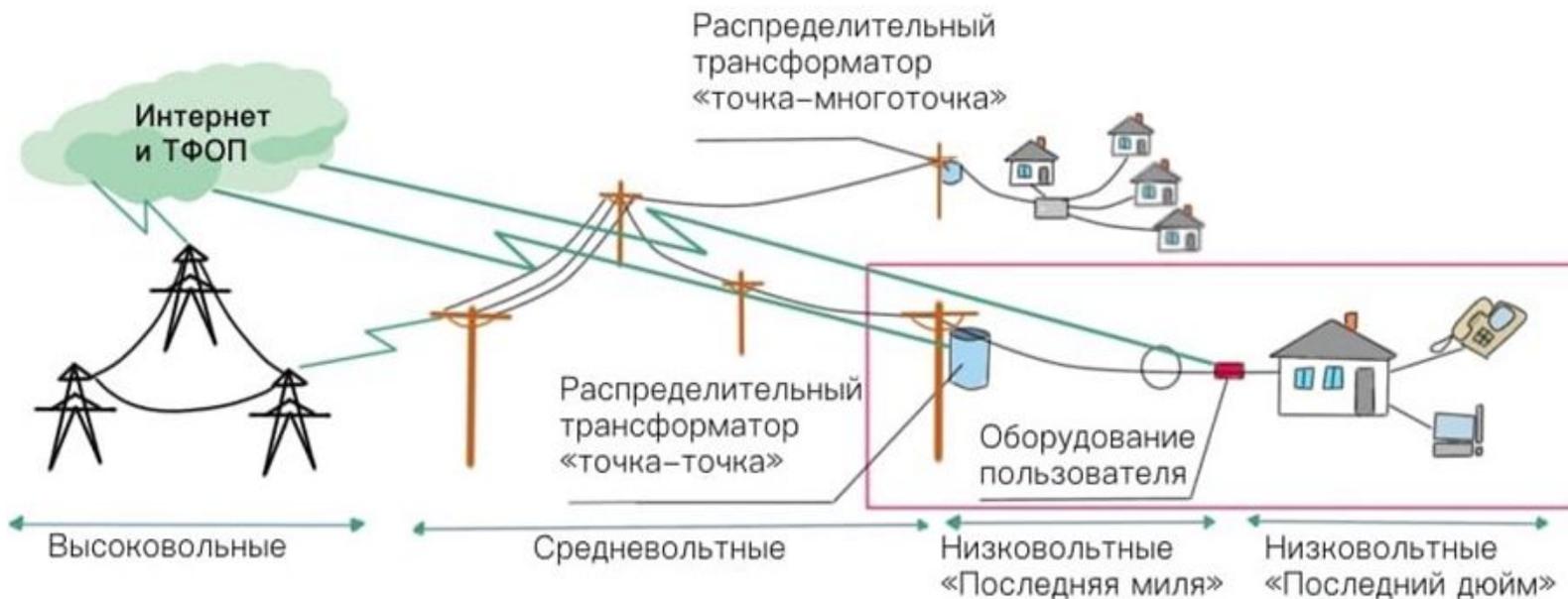
- автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП);
- автоматизированные системы контроля и учёта энергоресурсов (АСКУЭ);
- системы контроля и управления доступом (СКУД);
- охранно-пожарная система (ОПС);
- умный дом;
- диспетчеризация

Широкополосная передача информации (BPL)

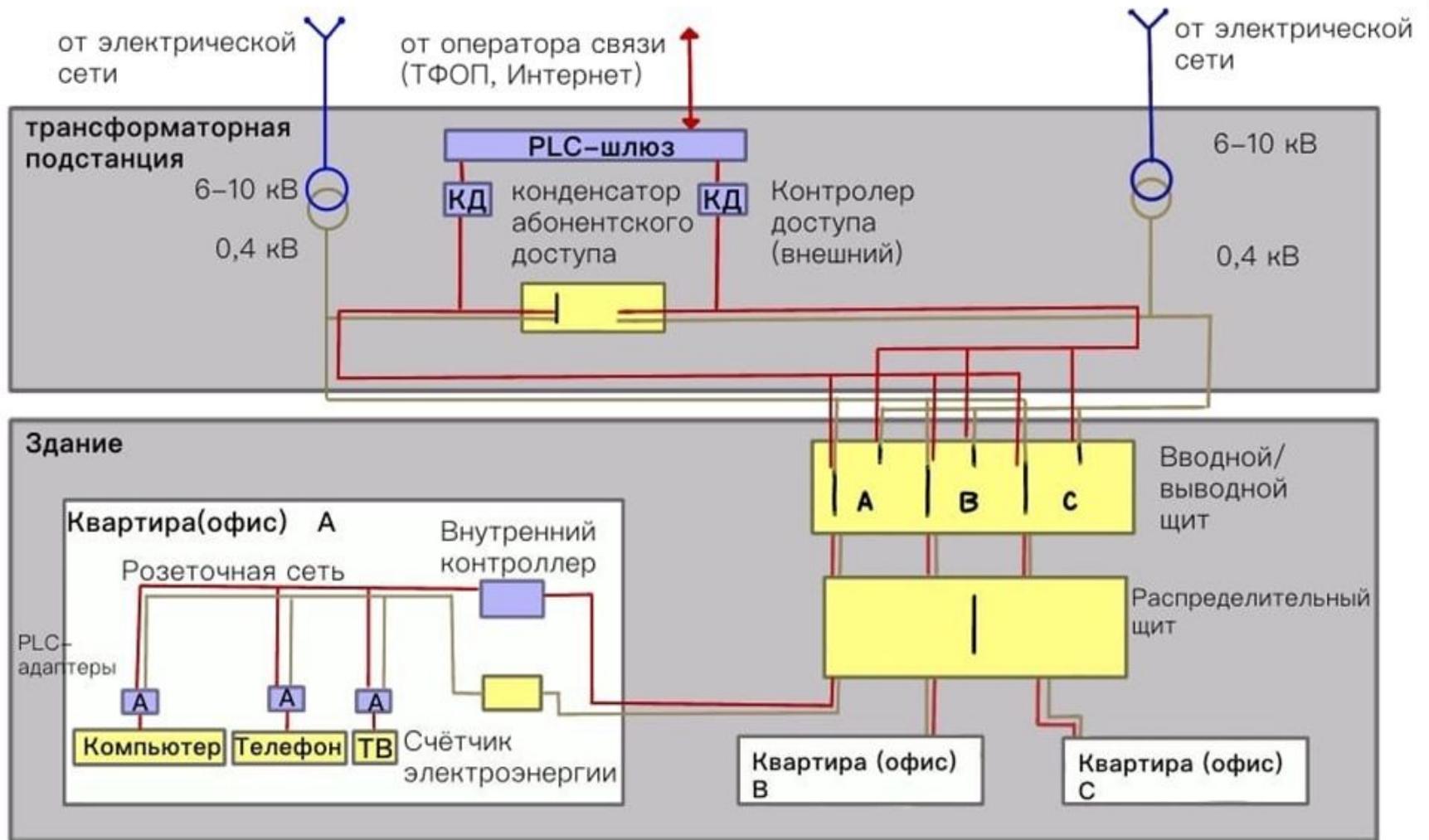
*скорость до нескольких сот Мбит/с,
ширина спектра до 100 МГц*

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

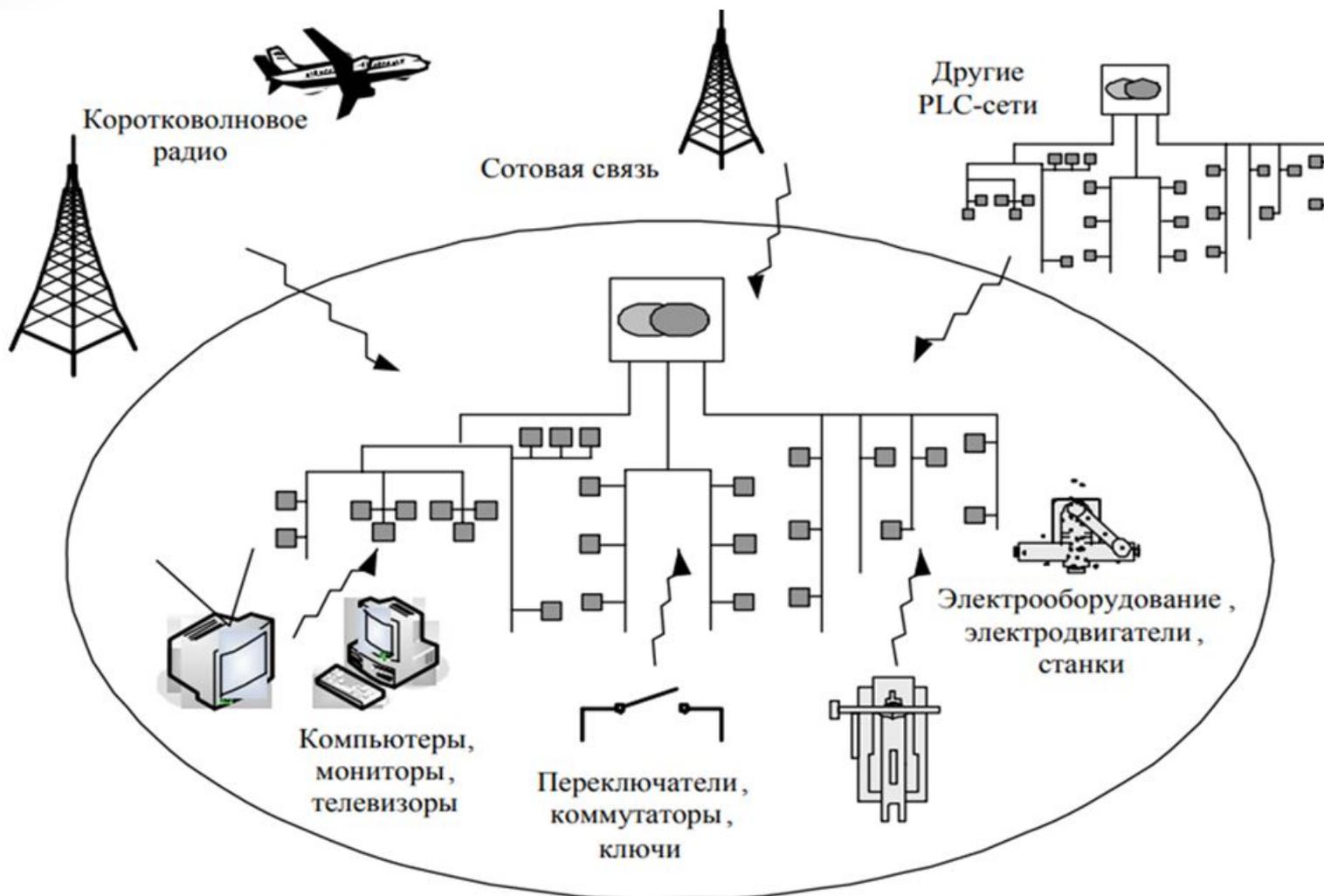
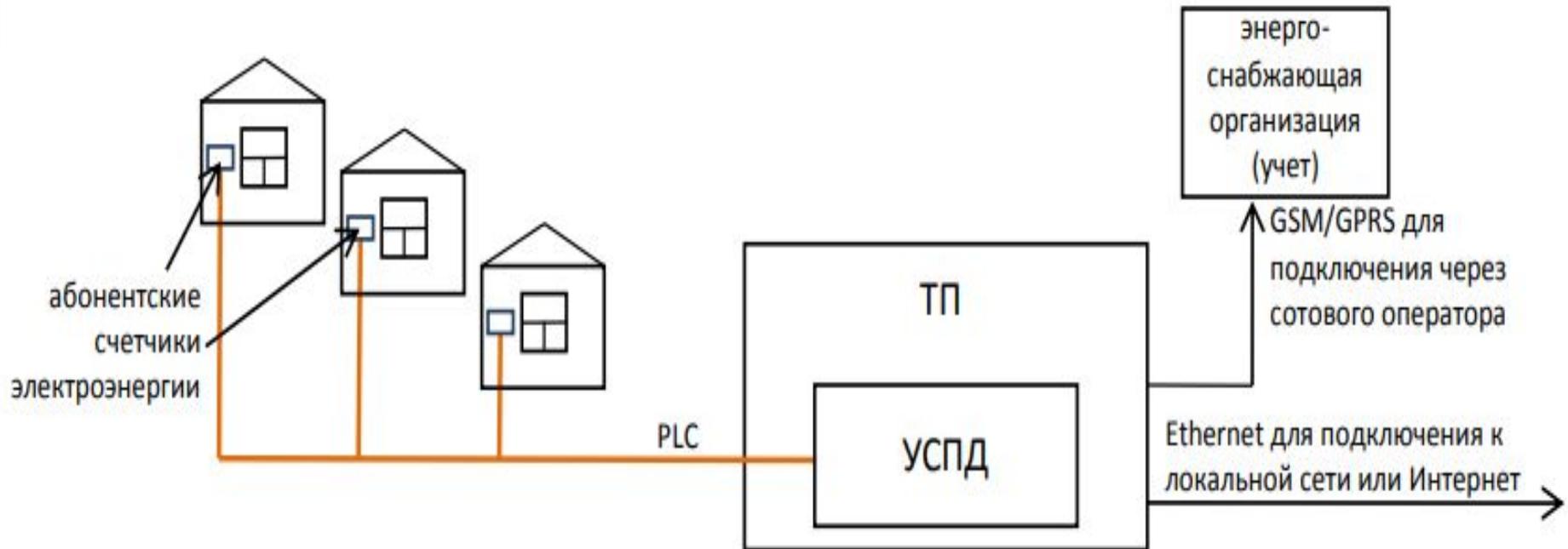
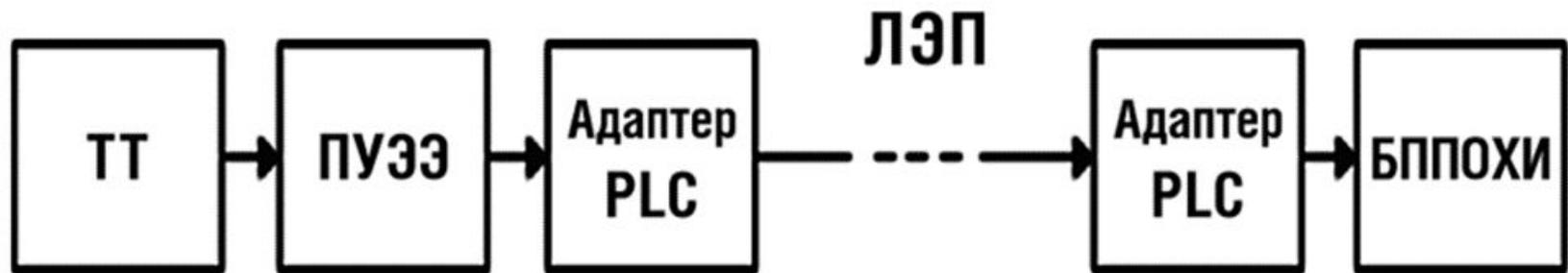


Схема построения АСКУЭ на основе PLC-технологии

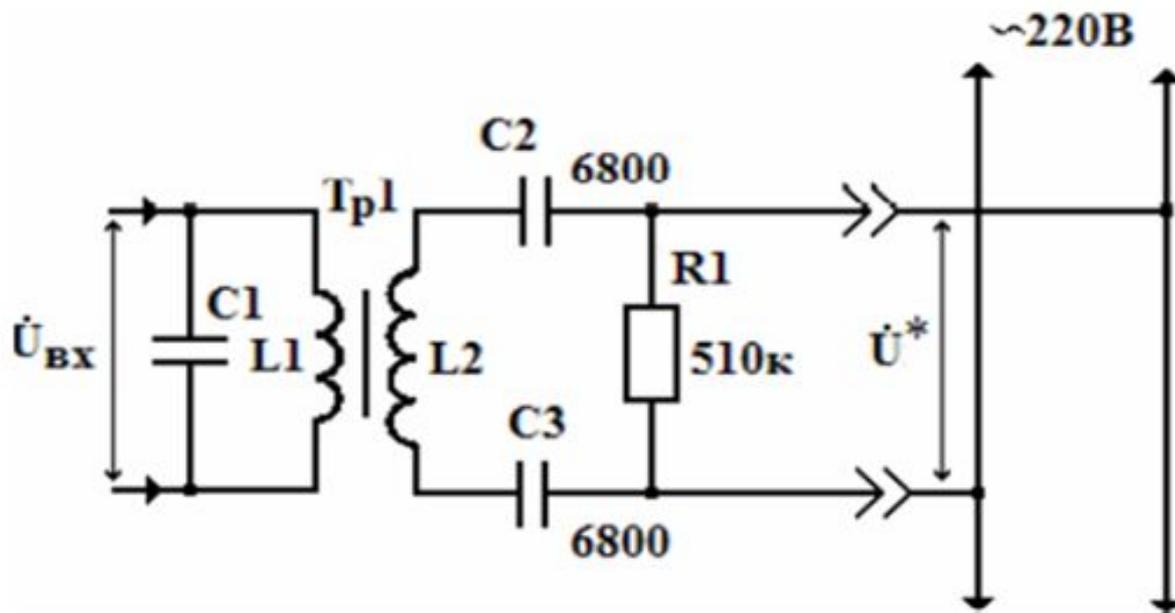


Устройство измерения параметров сети



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.

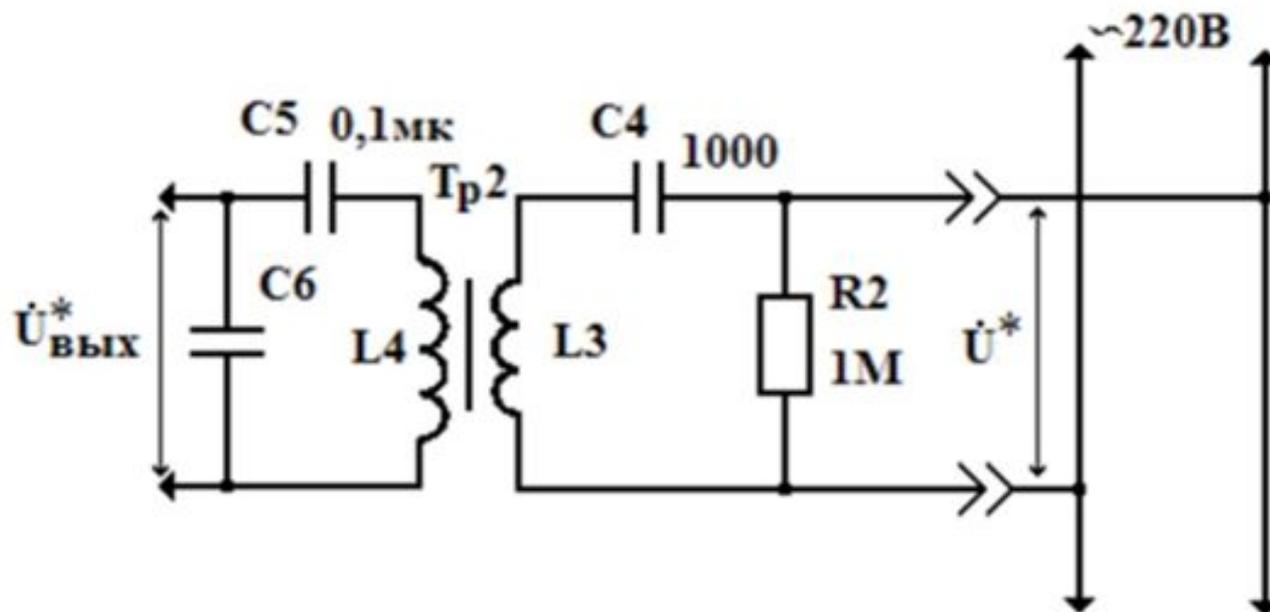
Полоса пропускания $f_{\text{п}} = 60 \text{ Гц} - \infty$.

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.

$$f_{z1} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_3 C_4}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{10^{-3} \cdot 1000 \cdot 10^{-6}}} \approx 160 \text{ Гц}$$

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

$$f_{z2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_4 (C_6 + C_5)}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{10^{-3} \cdot (1000 + 0.1) \cdot 10^{-6}}} \approx 160 \text{ Гц}$$

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!