

**ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА
ПО ТЕХНОЛОГИИ BPL ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРОВОДОВ ДОМОВОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ**

**ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ
ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ BPL ПРИ ВИКОРИСТАННІ
ВІТЧИЗНЯНИХ ПРОВОДІВ ДОМОВОГО ЕЛЕКТРОПРОВОДУ**

**THE ESTIMATION OF CHARACTERISTICS OF BASED ON BPL TECHNOLOGY
BROADBAND ACCESS USING DOMESTIC BUILDING ELECTRIC WIRING**

Аннотация. Статья посвящена оценке достижимых скоростей передачи данных по технологии широкополосного доступа BPL (Broadband Power Line) при работе по отечественным сетям электропроводки. Рассчитаны зависимости достижимой скорости передачи от длины проводов отечественного производства типа ППВ.

Анотація. Статтю присвячено оцінці досяжних швидкостей передавання даних за технологією широкопалосного доступу BPL (Broadband Power Line) при роботі по вітчизняних мережах електропроводу. Розраховано залежності досяжної швидкості передавання від довжини проводів вітчизняного виробництва типу ППВ.

Summary. The paper is devoted to the estimation of achieved data transmission rates using broadband access BPL (Broadband Power Line) technology while operating on domestic electric wiring networks. The dependences of achieved data transmission rate on domestic type ППВ electric wires length are calculated.

Одним из способов решения проблемы организации доступа к сети Интернет является использование на «последнем дюйме» существующих внутримдомовых и внутриквартирных электросетей (электропроводки). Для реализации широкополосного доступа по сетям электропроводки разработана технология BPL (Broadband over Power Lines) [1]. Эта технология используется в странах Азиатско-Тихоокеанского региона, Европы, Африки, Ближнего Востока, Латинской и Северной Америк, где количество абонентов в настоящее время составляет несколько десятков тысяч. Технология BPL стандартизована несколькими международными организациями, в том числе ITU – Рекомендациями G.9960 и G.9964 ITU-T [2, 3].

В Украине технология BPL пока что не используется. Проблема заключается в том, что данная технология была разработана для использования на зарубежных сетях электропроводки, характеристики которых существенно отличаются от характеристик отечественных сетей (в частности, конструкцией и типами проводов электропроводки). Однако для определения перспектив внедрения технологии BPL в Украине некорректным будет использовать как зарубежный опыт внедрения данной технологии, так и результаты научных исследований потенциальных характеристик широкополосного доступа по технологии BPL, ориентированных на зарубежные сети электропроводки.

Итак, **целью данной статьи** является исследование потенциальных характеристик широкополосного доступа по технологии BPL при использовании отечественных кабелей внутримдомовой (внутриквартирной) электропроводки.

Рассмотрим задачу определения достижимой скорости передачи данных по отечественным двухжильным проводам электропроводки типа ППВ с применением технологии BPL.

Существует несколько, как было указано выше, вариантов стандартизованных реализаций технологии BPL, регламентированных различными организациями по стандартизации. В большинстве из этих вариантов предполагается использование метода передачи ортогональными гармоническими сигналами (ОГС) [4], называемого за рубежом OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) или, что то же самое, DMT (Discrete MultiTone). Этот метод передачи характеризуется высокой эффективностью при работе по каналам связи с ненормированными и быстро меняющимися характеристиками, к которым, в том числе, относятся и линии сетей электропроводки. Полоса частот,

в которой работает оборудование BPL, как правило, начинается с 1 – 2 МГц и заканчивается десятками мегагерц. В нашей задаче будем рассматривать вариант, соответствующий Рекомендациям G.9960 и G.9964 ITU-T [2, 3]. Основные технические характеристики системы BPL в соответствии с [2, 3] приведены в табл. 1. Маска спектральной плотности мощности (СПМ) $PSD_{\text{MASK}}(f)$, дБм/Гц, определяющая максимально допустимые значения СПМ сигнала на выходе передатчика системы BPL, приведена на рис. 1, а параметры маски – в табл. 2.

Определим достижимую скорость передачи данных системой передачи (СП) BPL для частотного плана 25 MHz-PB с полосой частот от 0 до 25 МГц. Для этого воспользуемся изложенной в [4] методикой расчета достижимой скорости передачи системой передачи ортогональными гармоническими сигналами (СП ОГС).

Таблица 1

Параметр	Название частотного плана		
	25 MHz-PB	50 MHz-PB	100 MHz-PB
Количество несущих N	1024	2048	4096
Разнос частот между соседними несущими f_0	24,4140625 кГц		
Количество отсчетов на защитном интервале $N_{\text{зи}}$	$N/16 \cdot k, k = 1, 2, \dots, 8$ (по умолчанию $k = 8$)		
Количество отсчетов на тактовом интервале	$2N + N_{\text{зи}}$		
Частота дискретизации $f_{\text{д}}$	$2N \cdot f_0 = 50$ МГц	100 МГц	200 МГц
Частота следования тактов (символов) $f_{\text{с}}$, кГц	$f_{\text{д}} / (2N + N_{\text{зи}}) = 19,53125$	39,0625	78,125

Кратко изложим суть этой методики.

Суммарная скорость передачи R , достижимая СП ОГС, складывается из достижимых скоростей передачи по всем несущим СП ОГС [4]:

$$R = f_c \cdot \sum_{i=l_1}^{l_2} b(i), \quad (1)$$

где f_c – символьная скорость передачи (частота следования тактов);

$b(i)$ – максимальное количество бит, которые возможно передавать в течение тактового интервала на несущей с номером i ;

l_1 и l_2 – номера первой и последней используемых несущих.

$PSD_{\text{MASK}}(f)$,

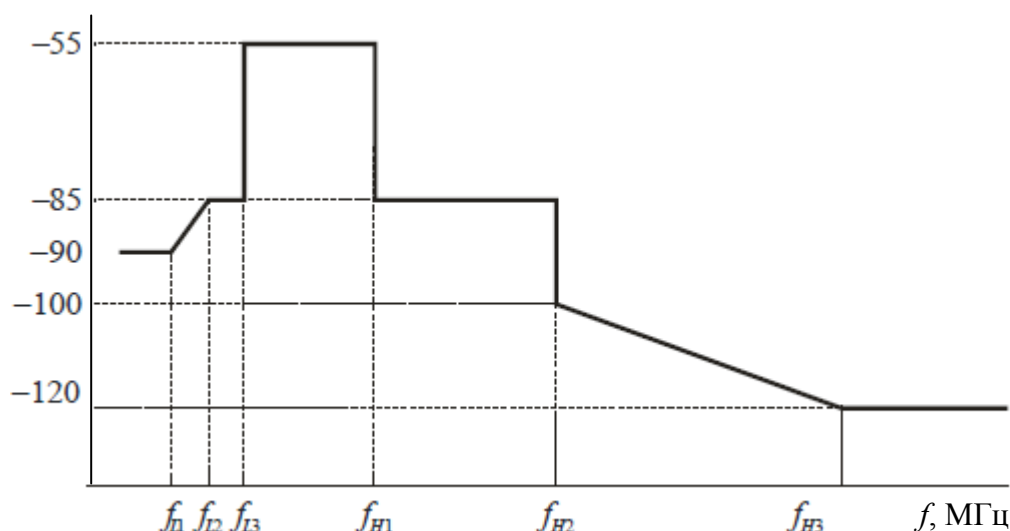


Рисунок 1 – Маска СПМ на выходе передатчика системы BPL (Рекомендация G.9964) [3]

Таблиця 2

Параметры	Частота, МГц	СПМ, дБм/Гц	Примечание
f_{L1}	1,1	- 90	
f_{L2}	1,8	- 85	
f_{L3}	2,0	- 85	
$f_{L3} + \Delta F$	$2,0 + \Delta F$	- 55	ΔF – это бесконечно малое положительное число
$f_{H1} - \Delta F$	$30 - \Delta F$	- 55	
f_{H1}	30	- 85	
$f_{H2} - \Delta F$	$100 - \Delta F$	- 85	
f_{H2}	100	- 100	
f_{H3}	250	- 120	

Величина $b(i)$ связана с соотношением сигнал/шум $SNR(i)$ на частоте i -й несущей и вероятностью ошибки p на выходе приемника соотношением [4]:

$$b(i) = \text{floor} \left\{ \log_2 \left(1 + \frac{3SNR(i)}{h^2} \right) \right\}, \quad (2)$$

где $\text{floor}\{x\}$ – операция отбрасывания дробной части числа x ;

h – отношение “полурасстояния” между ближайшими точками сигнального созвездия к среднеквадратическому значению гауссового шума в i -м канале модема.

Примечание. В современных СП ОГС максимальное значение $b(i)$ равно 15.

Величина h рассчитывается по формуле:

$$h = Q^{-1} \left(\frac{p}{1,4} \right),$$

где $Q^{-1}(x)$ – функция, обратная $Q(x)$, $Q(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy$;

p – вероятность ошибки; при $p = 10^{-7}$ $h \approx 5,26$.

Отношение сигнал/помеха на входе приемника на частоте i -й несущей

$$SNR(i) = 10^{0,1(PSD(i) - A(i) - n(i))},$$

где $PSD(i)$ – номинальная спектральная плотность мощности передаваемого сигнала на частоте i -й несущей;

$A(i)$ – затухание на частоте i -й несущей, которое определяется частотной характеристикой абонентского кабеля (километрическим затуханием и длиной линии);

$n(i)$ – спектральная плотность мощности помех на частоте i -й несущей на входе приемника.

В СП ОГС количество битов $b(i)$ устанавливается обычно несколько ниже максимального, определяемого формулой (2), с целью недопущения разрыва соединения вследствие непредсказуемого изменения уровня помех. Поэтому в расчетах необходимо учесть запас помехозащищенности (SNR margin) ΔSNR [4, 5]:

$$SNR(i) = 10^{0,1(PSD(i) - A(i) - n(i) - \Delta SNR)}.$$

Итак, зная отношение сигнал/помеха $SNR(i)$ на входе приемника и задавшись требуемой вероятностью ошибки p , можно определить количество передаваемых в течение посылки на i -й несущей битов информации $b(i)$, а затем и суммарную скорость передачи информации по конкретной линии.

Расчеты для выбранного варианта СП BPL будем проводить для следующих исходных данных:

– $p = 10^{-7}$;

– СПМ помех на входе приемника $n(i) = -140, -120$ и -100 дБм/Гц;

– $\Delta SNR = 6$ дБ;

– $l_1 = 1$ и $l_2 = N$ (согласно [3]);

– $PSD(f) = PSD_{\text{MASK}}(f) - 3,5$ (по аналогии с СП ADSL [5]);

– $A(i) = \alpha(i) \cdot L$, где $\alpha(i)$ – километрическое затухание двухжильного провода типа ППВ с площадью поперечного сечения токопроводящей жилы $2,5 \text{ мм}^2$ (см. табл. 3) на частоте i -й несущей [6], а L – длина провода.

Таблиця 3

Частота f , МГц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Килом. затухание α , дБ/км	8,2	14,4	20,2	25,9	31,4	36,9	42,3	47,7	53,0	58,3	63,6	68,9	74,1	79,3	84,5	89,7	94,9	100,0	105,2	110,4	115,5	120,6	125,7	130,9	136,0

Результаты расчетов зависимости достижимой скорости передачи по СП VPL при работе по двухжильному проводу типа ППВ с площадью поперечного сечения токопроводящей жилы 2,5 мм² при СПМ помех минус 140, минус 120 и минус 100 дБм/Гц приведены на рис. 2.

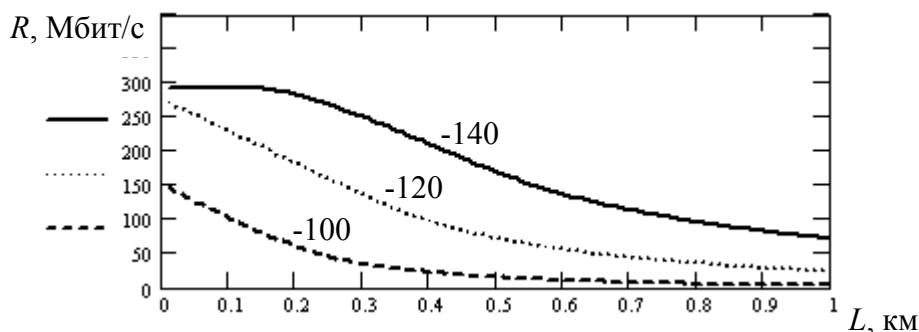


Рисунок 2 – Зависимость скорости передачи по СП VPL от длины провода ППВ 2x2,5 при СПМ помех минус 140, минус 120 и минус 100 дБм/Гц

Результаты расчетов демонстрируют высокий «потенциал» проводов типа ППВ для высокоскоростной передачи данных: на длинах до 100 метров достижимая скорость передачи составляет от 100 до 300 Мбит/с в зависимости от уровня помех. Плоский участок кривой при СПМ минус 140 дБм/Гц объясняется тем, что на малых длинах скорости передачи на всех несущих достигают максимума, соответствующего $b(i) = 15$, поэтому в пределах определенного диапазона длин скорость передачи СП VPL не меняется.

В заключение отметим, что исследование потенциальных возможностей проводов электропроводки отечественного производства по высокоскоростной передаче данных является лишь первым шагом в решении задачи определения перспектив технологии VPL на отечественных сетях электропроводки. Это связано с тем, что сети электропроводки имеют сложную разветвленную топологию, что существенно сказывается на частотных характеристиках каналов передачи этих сетей. Результаты исследований достижимых скоростей передачи по отечественным сетям электропроводки с учетом их сложной топологии авторы планируют отразить в последующих публикациях.

Литература

1. *Морриси Питер*. Реализация технологии VPL / Питер Морриси // Сети и системы связи. – 2007. – № 11.
2. ITU-T Recommendation G.9960 Unified high-speed wireline-based home networking transceivers – System architecture and physical layer specification.
3. ITU-T Recommendation G.9964 Unified high-speed wireline-based home networking transceivers – Power spectral density specification.
4. *Балашов В.А.* Системы передачи ортогональными гармоническими сигналами / Балашов В.А., Воробийченко П.П., Ляховецкий Л.М. – М.: Эко-трендз, 2012. – 228 с.
5. ITU-T Recommendation G.992.1 Asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers.
6. *Лашко А.Г.* Высокочастотные параметры передачи двухжильных проводов домашней электропроводки, применяемых в технологии VPL / А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецкий, С.А. Заблоцкий // Зв'язок. – 2013. – №1. – С. 27 - 31.