

PLC装着2線に及ぼす第3線の影響 (資料16-7の補遺)

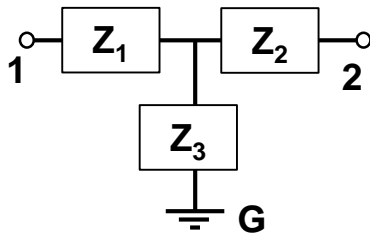
資料16-7では、極端に不平衡な終端条件(LCL 16dB)の平行2線にPLCモデムを接続し、さらに第3線を追加して、第3線の影響を電磁界シミュレーションによって解析した。

本資料では、より一般的な終端条件の三相線にPLCモデムを接続した場合について、モデムを接続していない第3線の影響を検討する。

東北大学名誉教授
杉浦 行
(京都大学研究員)

PLCモデムから見た電力線の電気的特性

単相2線



負荷のモード・インピーダンス

$$(X) = \begin{pmatrix} Z_1 + Z_2 & \frac{Z_1 - Z_2}{2} \\ \frac{Z_1 - Z_2}{2} & \frac{Z_1 + Z_2}{4} + Z_3 \end{pmatrix} \equiv \begin{pmatrix} Z_{dd} & Z_{dc} \\ Z_{cd} & Z_{cc} \end{pmatrix}$$

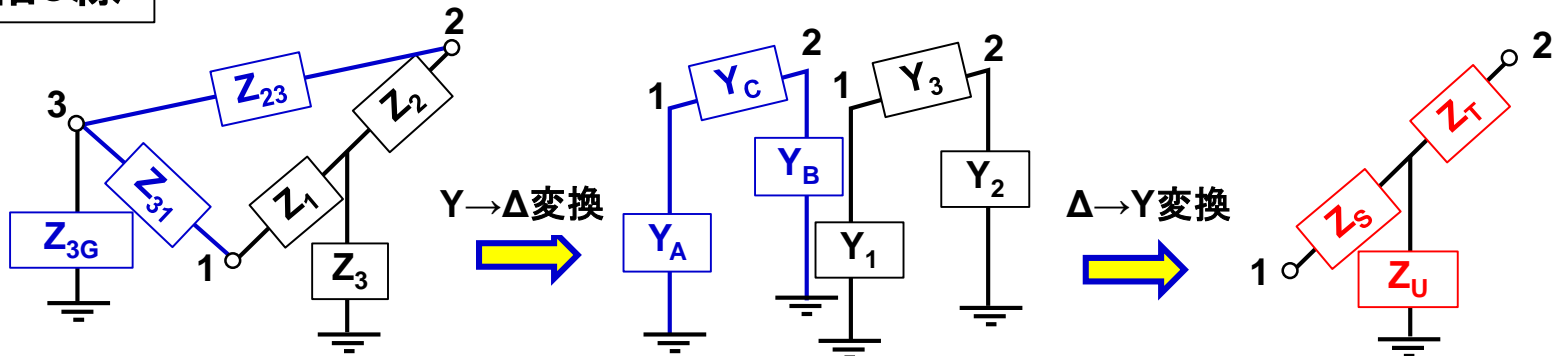
(1) ディファレンシャルモード・インピーダンス (DMZ): Z_{dd}

(2) コモンモード・インピーダンス (CMZ): $\frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3$

(3) 縦電圧変換損: $LCL = 20 \log(\alpha)$

$$\alpha \equiv \left| \frac{(Z_{dd} + Z_D)(Z_{cc} + Z_C) - Z_{dc}^2}{Z_D Z_{dc}} \right|$$

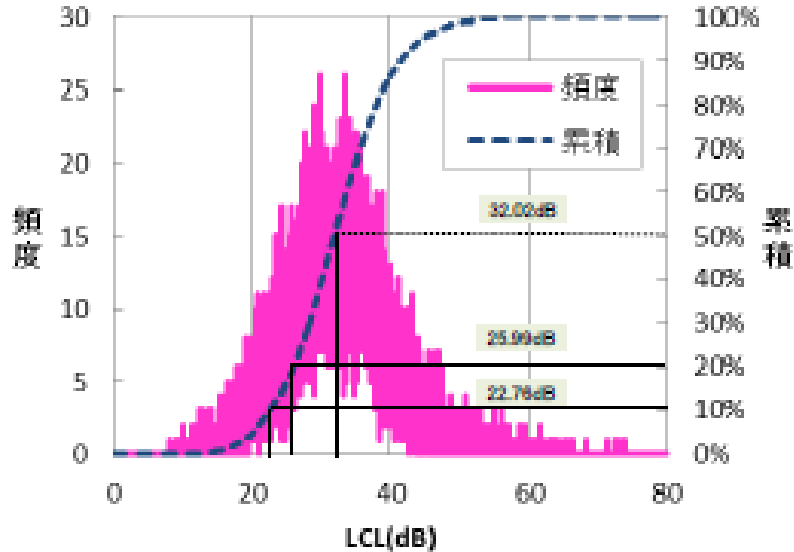
三相3線



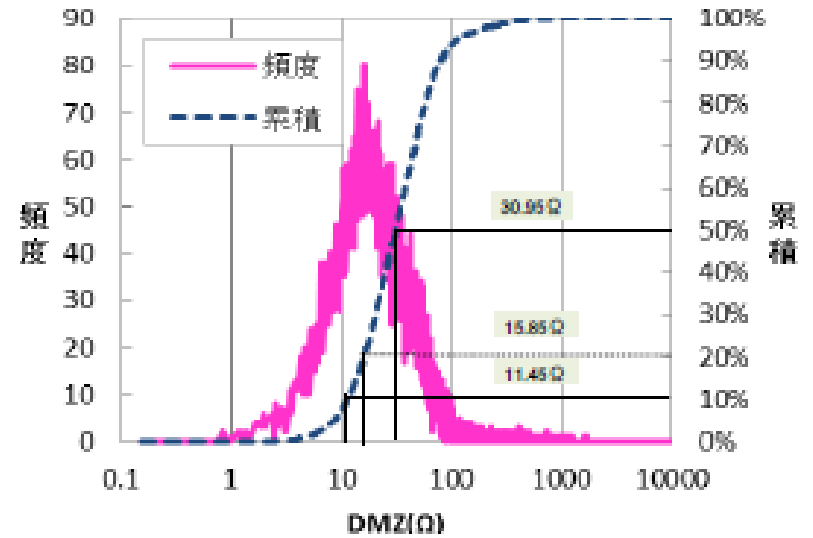
杉浦、松嶋、和田「モード変換損パラメータLCL/TCLとミックスドモードSパラメータSdc/Scd」
信学会EMC研究会 2019.3.15

三相電力線の電気的特性(例)

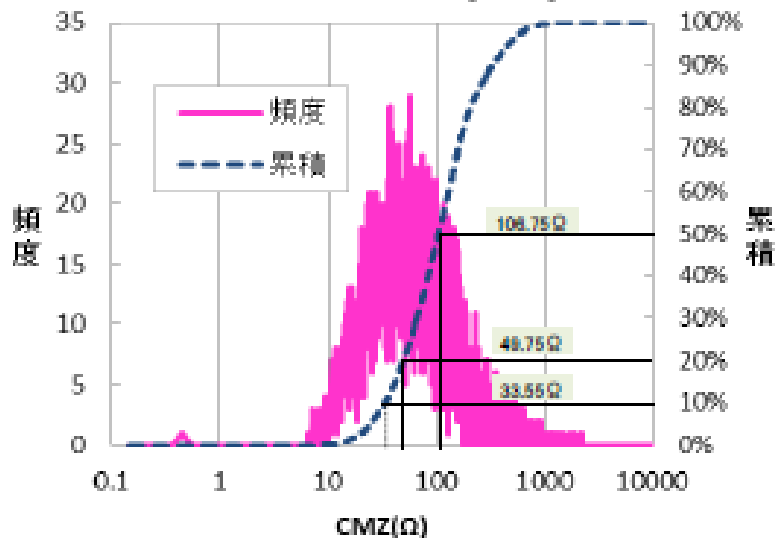
ヒストグラム LCL[全体]



ヒストグラム DMZ[全体]



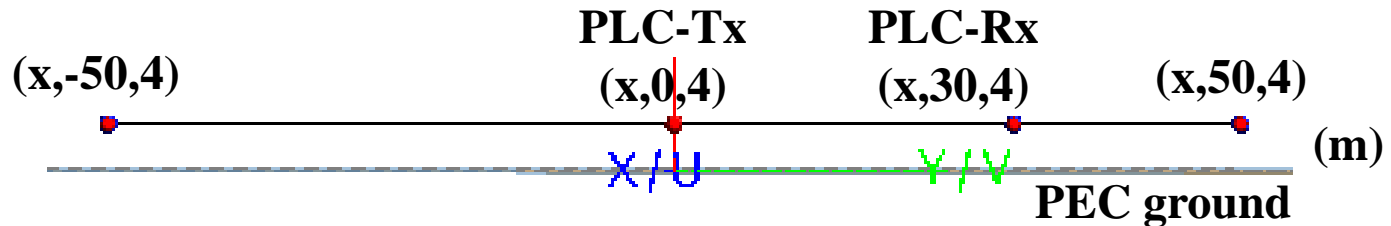
ヒストグラム CMZ[全体]



資料15-4

電磁界解析における三相線の両端には、図の工場内三相線の電気的特性例およびPLCモデムの認証試験を参考にして、最悪条件としてDMZ=100 Ω, CMZ=25 Ω, LCL=16 dBに相当する抵抗負荷を接続する。

解析モデル(2線系)



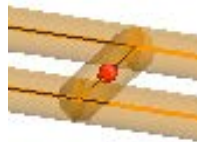
Wires: Perfect electrical conductor (PEC) without insulator
 Radius 0.003 m, Separation 0.02 m ($x = -0.02$ & $x = 0.0$)
 Length 100 m ($y = -50 \sim y = +50$ m), Height 4 m

PLC Tx: 0.1 V emf, 24Ω : なお、実際のモデムでは15 MHz以上で-10 dB以下
PLC Rx: 75Ω

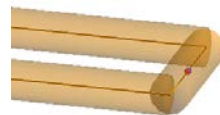
PLC on #1-#2 wires ($x = -0.02, 0.0$)

PLC-Tx ($x, 0, 4$)

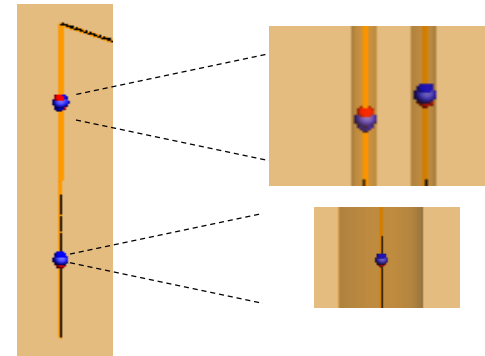
PLC-Rx ($x, 30, 4$)



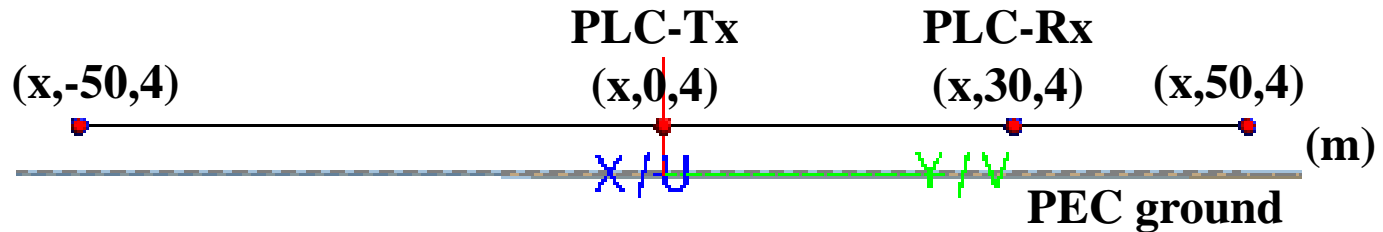
End termination (Matched)



End termination (LCL 16dB)



解析モデル(3線系)



Wires: Perfect electrical conductor (PEC) without insulator

Radius 0.003 m, Separation 0.02 m ($x = -0.02$, $x = 0.0$ & $x = +0.02$)

Length 100 m ($y = -50 \sim y = +50$ m), Height 4 m

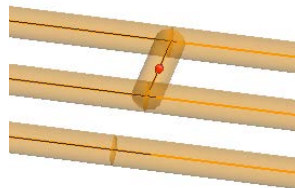
PLC Tx: 0.1 V emf, 24Ω : なお、実際のモデムでは15 MHz以上で-10 dB以下

PLC Rx: 75Ω

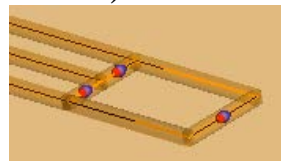
PLC on #1-#2 wires ($x = -0.02, 0.0$)

PLC-Tx ($x, 0, 4$)

PLC-Rx ($x, 30, 4$)



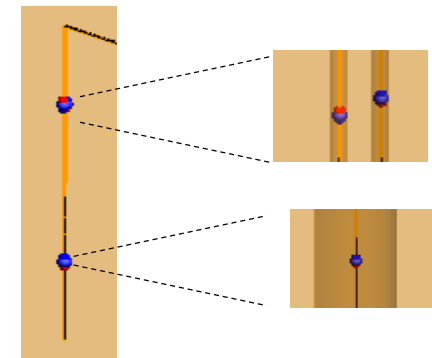
End termination (Matched)



End termination (LCL 16dB)

#1-#2 wires

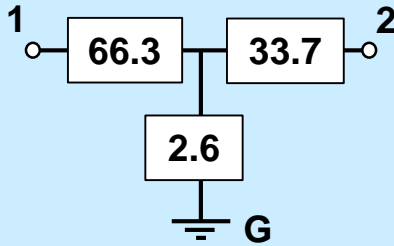
($x = -0.02, 0.0$)



#3 wire ($x = +0.02$): Open or grounded

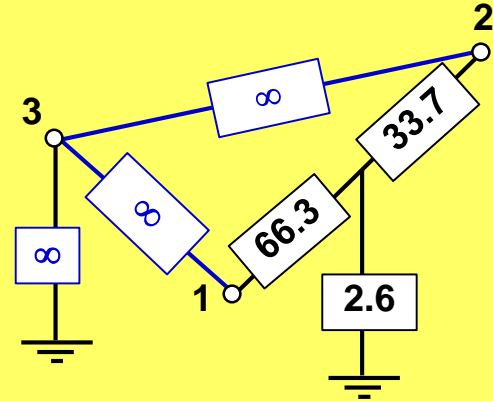
解析モデルの線路終端条件 (LCL=16dB)

単相2線

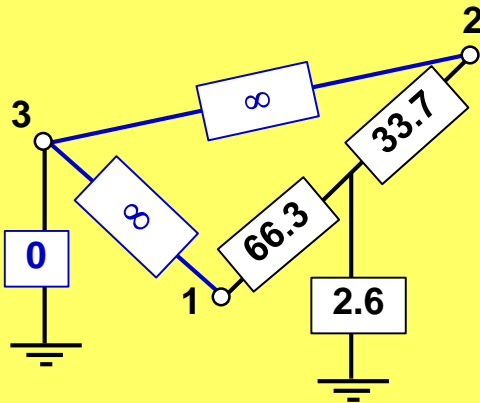


Case 0: LCL=16dB,
DMZ=100Ω, CMZ=25Ω

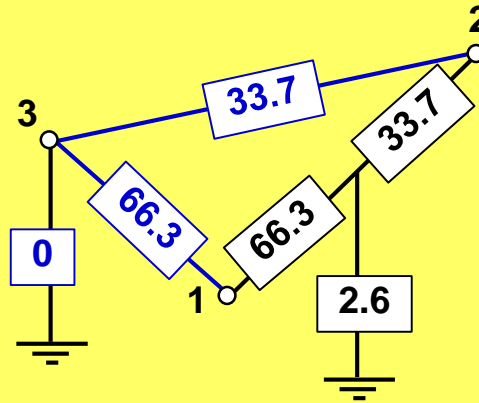
三相3線



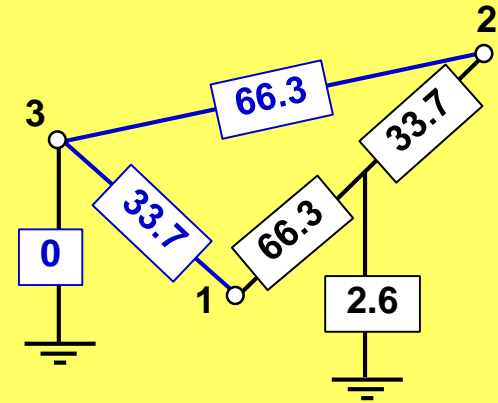
Case 1: LCL=16dB,
DMZ=100Ω, CMZ=25Ω



Case 2: LCL=16dB,
DMZ=100Ω, CMZ=25Ω



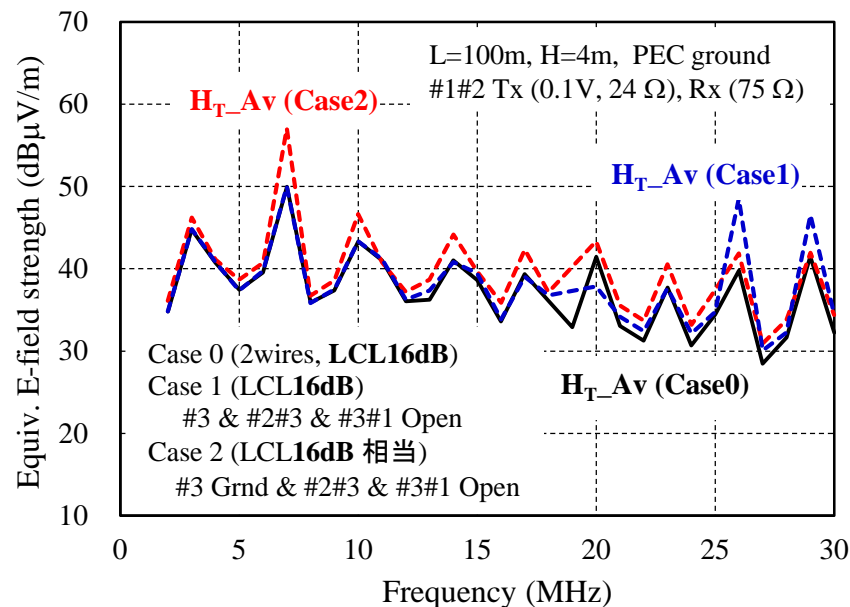
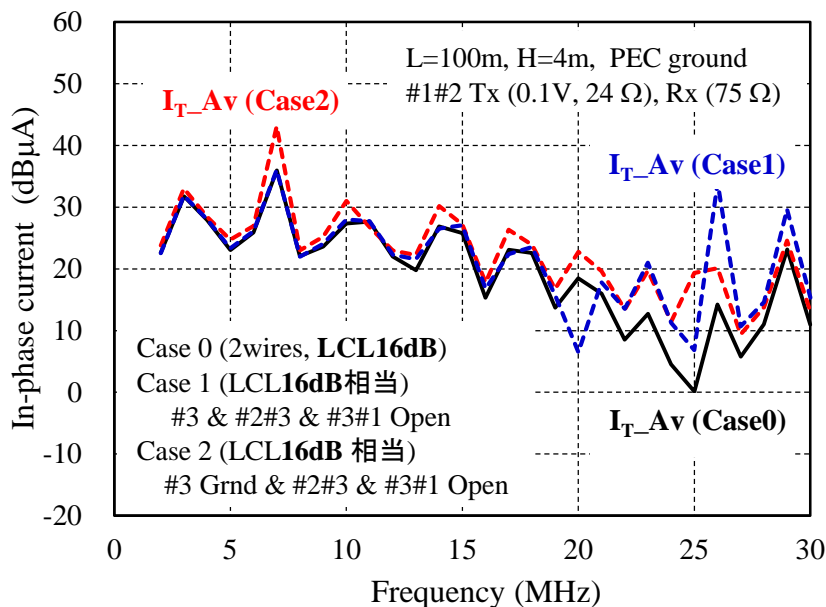
Case 3: LCL=17dB,
DMZ=50Ω, CMZ=12Ω



Case 4: LCL=42dB,
DMZ=45Ω, CMZ=12Ω

Case 0, 1, & 2

同相電流と近傍磁界強度(平均値)

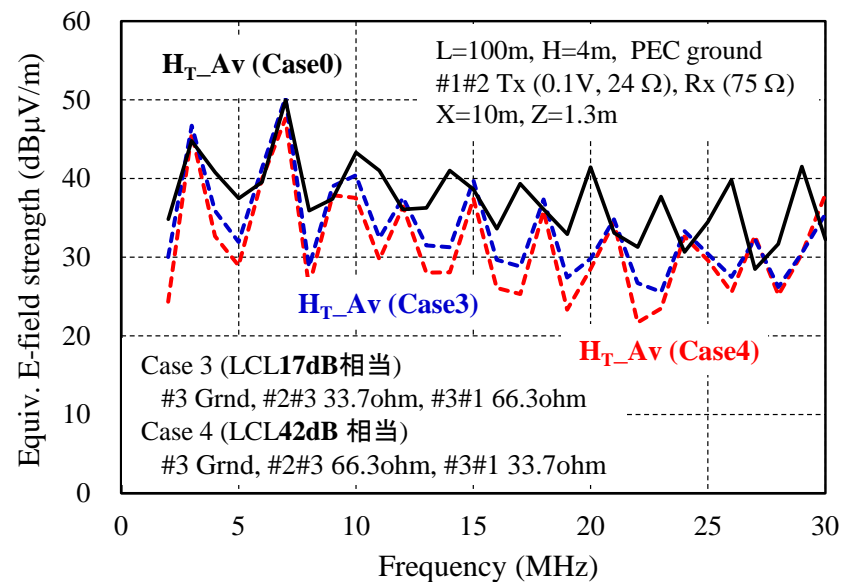
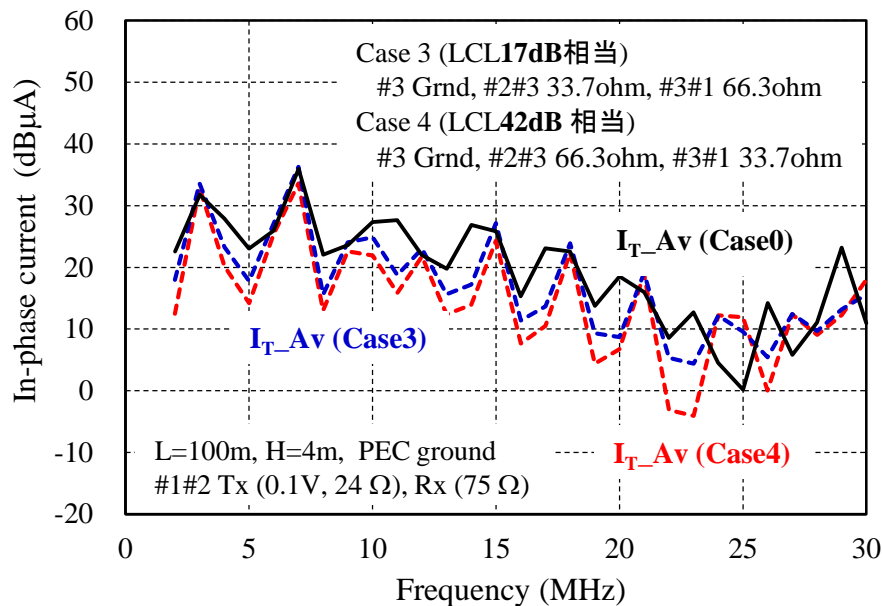


線路終端の平衡度が極めて悪い場合 (LCL16dB)

- 左図: 平行2線または3線を同方向に流れる同相電流(コモンモード電流: $I_T = I_1 + I_2 + I_3$)の線路に沿った振幅分布の平均値の周波数特性
- 右図: 線路から距離10m、金属大地面から1.3mの高さにおける近傍磁界強度(等価電界強度)Hの線路に沿った振幅分布の平均値の周波数特性

Case 0, 3, & 4

同相電流と近傍磁界強度(平均値)

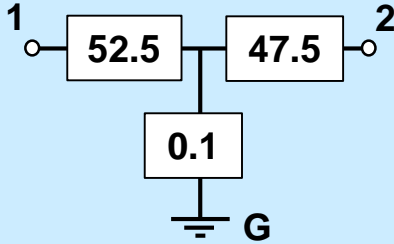


線路終端の平衡度が極めて悪い場合 (LCL16dB)

- (1) (全頁の図) モデム接続2線の終端負荷が極めて不平衡な場合 (例えばLCL 16dB)、第3線を付加しても、終端における2線との結合が弱ければ、第3線の影響は小さい
- (2) (上図) ただし、第3線とモデム接続2線との終端結合が強ければ、平衡状態が改善され漏えい磁界が低下することがある。

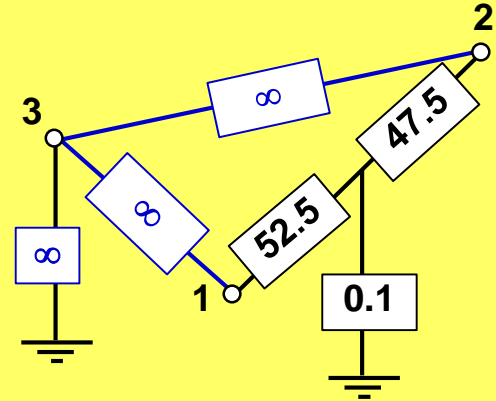
解析モデルの線路終端条件 (LCL=32dB)

単相2線

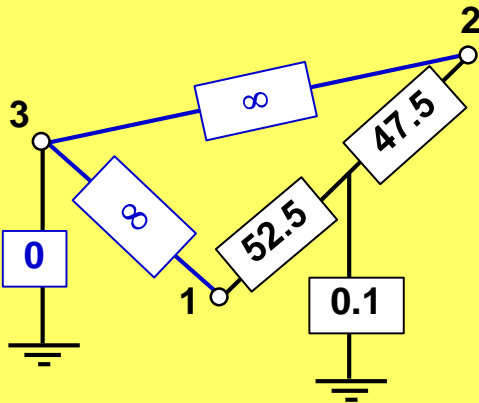


Case A: LCL=32dB,
DMZ=100Ω, CMZ=25Ω

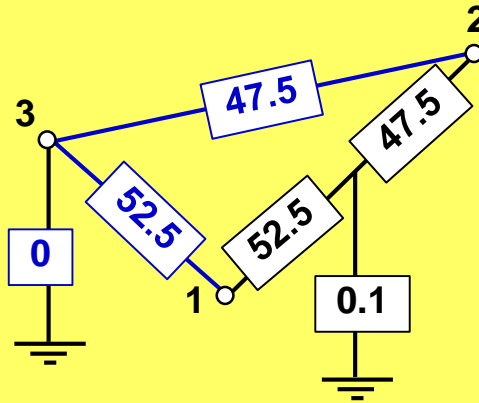
三相3線



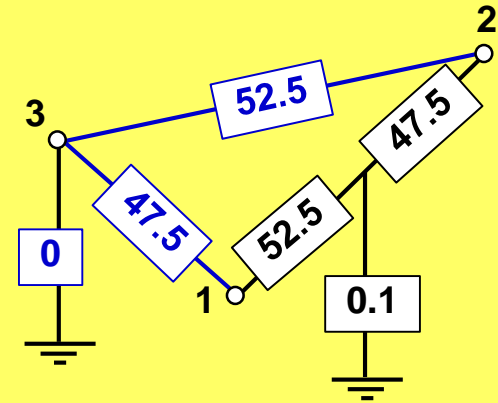
Case B: LCL=32dB,
DMZ=100Ω, CMZ=25Ω



Case C: LCL=32dB,
DMZ=100Ω, CMZ=25Ω



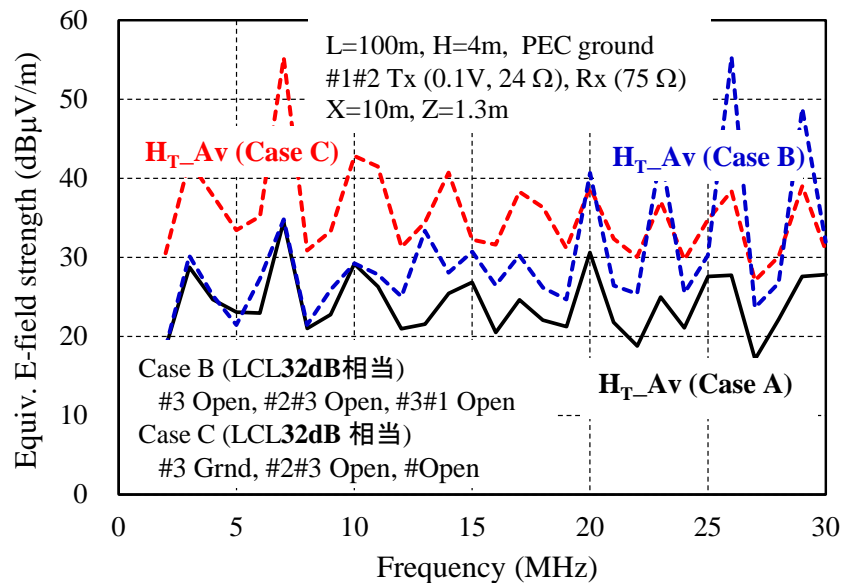
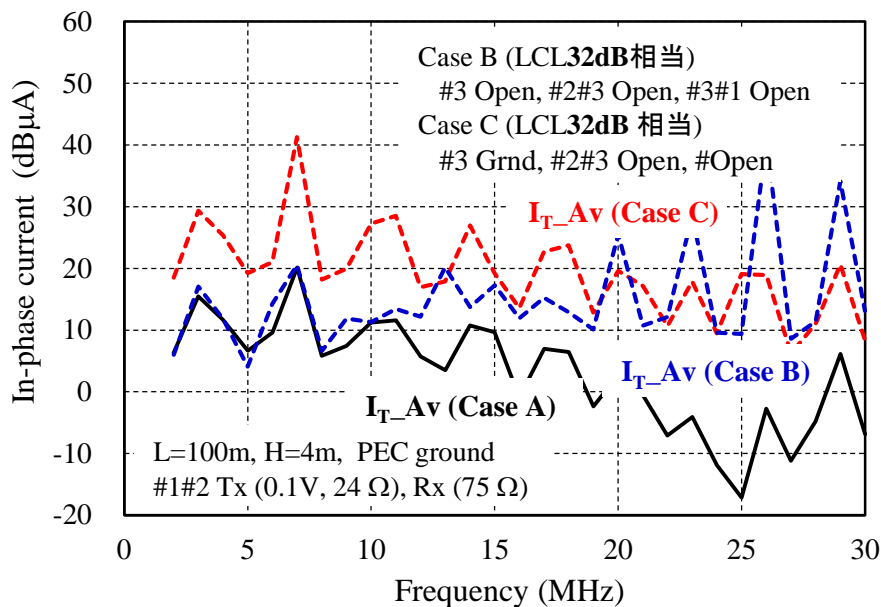
Case D: LCL=33dB,
DMZ=50Ω, CMZ=12Ω



Case E: LCL=87dB,
DMZ=50Ω, CMZ=12Ω

Case A, B, & C

同相電流と近傍磁界強度(平均値)

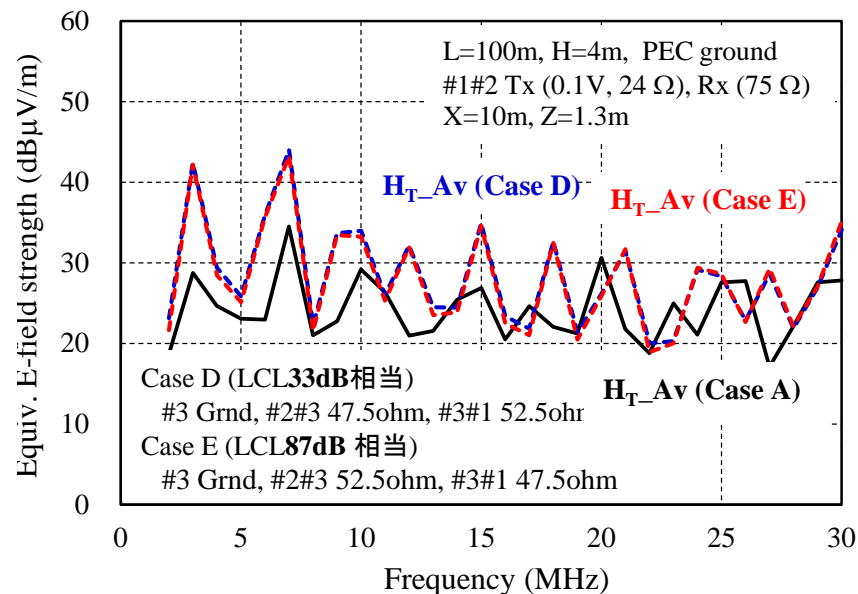
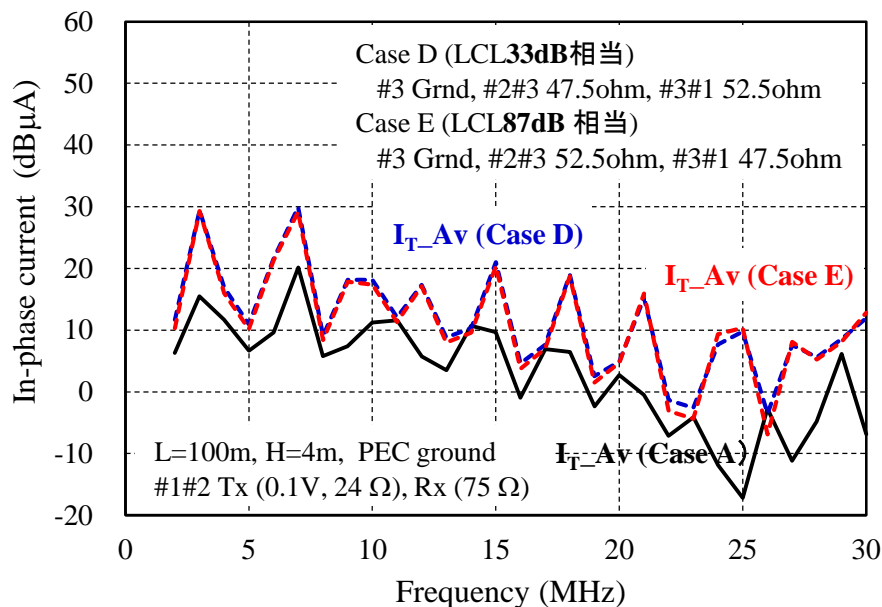


線路終端の平衡度が良い場合 (LCL32dB)

- (1) モデム接続2線の終端の平衡度が良い場合 (例えばLCL32dB)、第3線を付加することによって平衡状態が悪化し、近傍磁界強度が高くなる。

Case A, D, & E

コモンモード電流と漏えい磁界の平均値

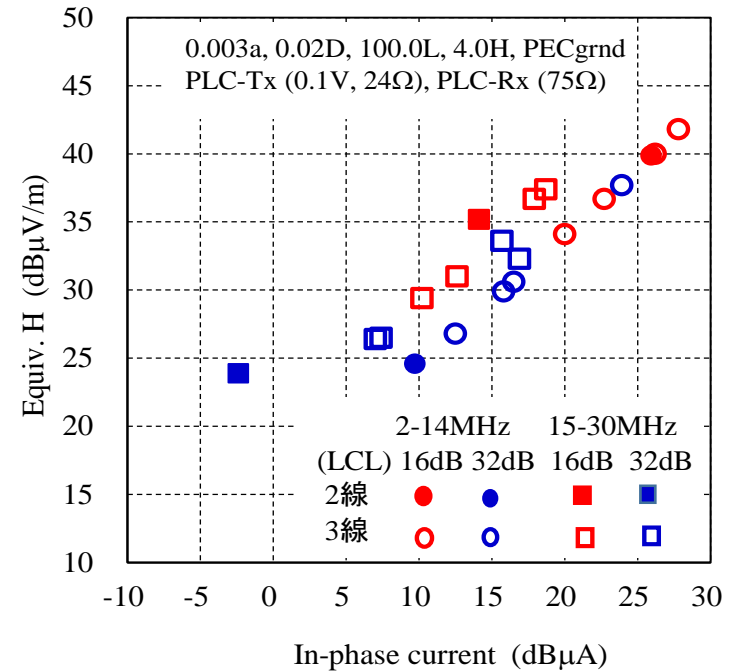


線路終端の平衡度が良い場合 (LCL32dB)

(2) 特に、第3線がモデム接続2線と終端で接続していない場合、漏えい磁界が高くなる。

コモンモード電流と漏えい磁界(まとめ)

LCL 16 dB		同相電流 dB μ A		LCL 32 dB		同相電流 dB μ A			
		終端条件	2-14 MHz	15-30MHz			終端条件	2-14 MHz	15-30MHz
2 wire	Case 0		25.9	14.1	2 wire	Case A		9.7	-2.4
3 wire	Case 1	Z23= ∞ Z31= ∞ Z3= ∞	26.2	17.9	3 wire	Case B	Z23= ∞ Z31= ∞ Z3= ∞	12.5	16.9
	Case 2	Z23= ∞ Z31= ∞ Z3=0	27.8	18.7		Case C	Z23= ∞ Z31= ∞ Z3=0	23.9	15.7
	Case 3	Z23=33.7 Z31=66.3 Z3=0	22.7	12.6		Case D	Z23=47.5 Z31=52.5 Z3=0	16.5	7.4
	Case 4	Z23=66.3 Z31=33.7 Z3=0	20.0	10.2		Case E	Z23=52.5 Z31=47.5 Z3=0	15.8	7.0
LCL 16 dB		漏えい磁界 @10m		LCL 32 dB		漏えい磁界 @10m			
		終端条件	2-14 MHz	15-30MHz			終端条件	2-14 MHz	15-30MHz
2 wire	Case 0		39.9	35.2	2 wire	Case A		24.6	23.9
3 wire	Case 1	Z23= ∞ Z31= ∞ Z3= ∞	40.0	36.7	3 wire	Case B	Z23= ∞ Z31= ∞ Z3= ∞	26.8	32.3
	Case 2	Z23= ∞ Z31= ∞ Z3=0	41.8	37.4		Case C	Z23= ∞ Z31= ∞ Z3=0	37.7	33.6
	Case 3	Z23=33.7 Z31=66.3 Z3=0	36.7	31.0		Case D	Z23=47.5 Z31=52.5 Z3=0	30.6	26.5
	Case 4	Z23=66.3 Z31=33.7 Z3=0	34.1	29.4		Case E	Z23=52.5 Z31=47.5 Z3=0	29.9	26.4
		磁界 : Case2-AV(CaseD & E)		11.6	11.0				



三相線の電磁界解析モデル

電磁界解析に使用する三相線モデルとして、モデム接続2線の終端が極めて不平衡(LCL16dB)で、かつ第3線が直接接地されているモデル(Case2)を使用すれば漏えい磁界強度のほぼ最悪値が得られることが判る。なお、平均的な平衡度(LCL32dB)の一般的な終端条件(Case D, E)の三相線の近傍磁界強度は、上記の解析モデルの強度より10dB程度低い値になると思われる。

PLC装着2線に及ぼす第3線の影響

<結論>

一般に、PLCモデムを接続した平行2線に第3線を付加すると、特に線路終端の平衡状態が変わるため、同相電流(コモンモード電流)も近傍磁界強度も変化する。

ただし、

- (1) モデム接続2線の終端が極めて不平衡な場合(例えばLCL 16dB)、第3線とモデム接続2線の終端結合が弱ければ、第3線の影響は顕著でない。ただし、第3線とモデム接続2線との終端結合が強いと、平衡度が改善され近傍磁界強度が低下する。
- (2) モデム接続2線の終端の平衡状態が良ければ(例えばLCL 32dB)、第3線を付加することによって、平衡度が劣化し近傍磁界強度が高くなる場合がある。
- (3) 上記の結果より、PLCモデムをLCL 16dBの極めて不平衡な2線に接続し、第3線の両端を接地した線路モデル(Case 2)の近傍磁界強度が最も高いと思われる。したがって、PLC接続三相線の近傍磁界の理論解析には上記のモデルを採用する。

結論として、極めて不平衡な負荷条件(LCL 16dB)を想定して決定した单相2線用屋内・屋外PLCモデムの許容値は、三相3線にも適用できることが推測される。