

漏電遮断器のインバータ回路への適用

井出 安俊(いで やすとし)

中村 司(なかむら つかさ)

小山 秀樹(こやま ひでき)

① まえがき

わが国で漏電遮断器(以下、ELCBと記す)の生産が始まってから二十有余年の歳月が経過している。この間、地絡保護に関する法的規制、あるいは感電災害に対する安全意識の高揚により、ELCBの普及は急速に進み、適用範囲もきわめて広範囲なものとなっている。

一方、経済環境の変化は産業界に新しいニーズを生み出し、これに呼応した新しい製品が次々と開発されてきた。ELCBの適用環境の観点からの最も大きな変化は、電動機の可変速制御を行うインバータ回路への普及を挙げることができる。インバータは、昭和55年の第二次オイルショック以降、省エネルギーニーズにより急速に普及し、現在ではより広範囲な分野に適用されている。しかし、インバータ回路へのELCBの適用においては、高周波漏れ電流による不要動作に留意しなければならないという、新たな適用上の問題点が生じてきた。

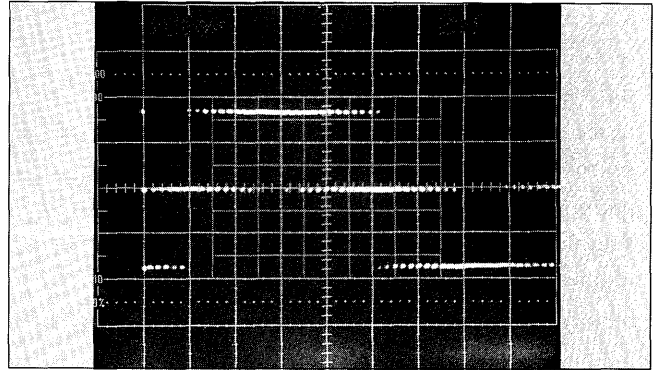
富士電機では、この問題について、インバータの普及当初から、関係者間の技術的連携のもとに適用検討を進め、昭和58年7月から富士漏電遮断器(以下、ELBと記す)の特性改良を行った。また、同時にインバータ回路への適用時のELB感度選定表を作成して対応を行ってきた。しかしながら、インバータ回路への普及がさらに広範囲に進んでいる今日において、ELBのインバータ回路への適用について、多数の問合せが寄せられている。この状況を踏まえ、本稿においては、適用時の疑問点が少しでも解消されるように、インバータによる高周波漏れ電流発生メカニズム、ELBの特性改善内容ならびにELBの適用方法などについて述べる。

② インバータと高周波漏れ電流

2.1 高周波漏れ電流の発生メカニズム

インバータは商用周波電力をいったん直流に変換して、出力側のトランジスタを高速でスイッチングさせ、図1に示すような波形の電圧を出力している。したがって、イン

図1 インバータの出力電圧波形例



バータ出力側には高い周波数の高周波電圧が発生する。この高周波電圧は、図2に示すように、負荷側ケーブルや電動機の対地静電容量を介して、図3のような高周波漏れ電流を発生させる。高周波漏れ電流は大地を経由してトランスの接地線から回路に戻り、ELCBを通過してインバータに帰還する。このため、高周波漏れ電流の大きさによっては、ELCBが動作する要因となる。この高周波漏れ電流の周波数は、実回路での測定において、周波数3~10kHz(キヤリヤ周波数)を中心に数百kHz以上の高周波まで観測される場合がある。

2.2 系統における高周波漏れ電流の経路

図4にELCBとインバータが接続された系統のモデルを示す。高周波漏れ電流は負荷側ケーブルと大地間の対地静電容量を介して循環するだけでなく、ケーブルの敷設方法によっては、他の回路にも影響を及ぼす場合がある。

以下に電流経路と影響を受けるELCBの関係を述べる。

(1) インバータ使用回路だけの高周波漏れ電流経路

図4の①で示した電流経路は、最も一般的に発生するケースであり、ELCB1とELCB2が影響を受ける。

(2) 他回路への高周波漏れ電流経路

図4の②で示した電流経路は、インバータ使用回路とインバータを使用していない回路のケーブル間静電容量 C_1 を介して高周波漏れ電流が流れる場合を示し、ELCB2と



井出 安俊

昭和48年入社。漏電遮断器の開発・設計に従事。現在、大田原工場設計部課長。



中村 司

昭和43年入社。漏電遮断器の開発・設計を経て、漏電遮断器および制御機器の開発試験に従事。現在、大田原工場設計部課長補佐。



小山 秀樹

昭和62年入社。漏電遮断器の開発・設計に従事。現在、大田原工場設計部。

図2 高周波漏れ電流の発生と電流経路

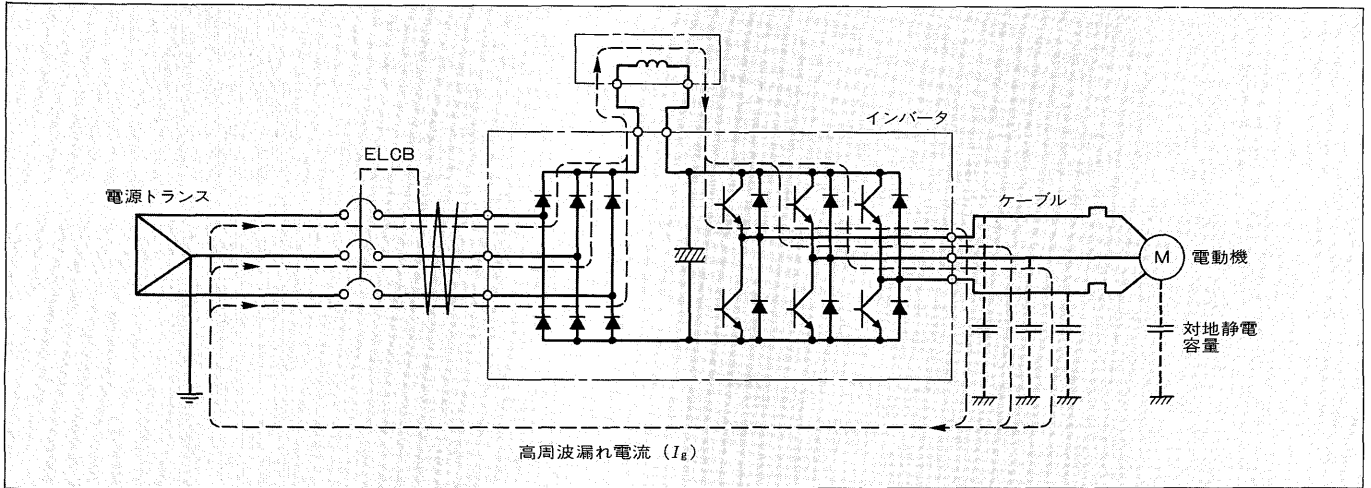


図3 高周波漏れ電流の波形例

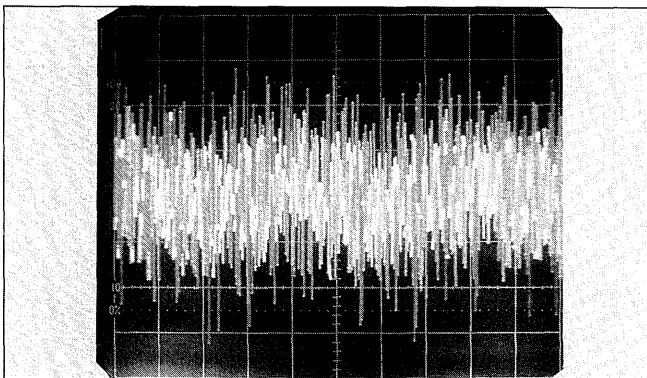
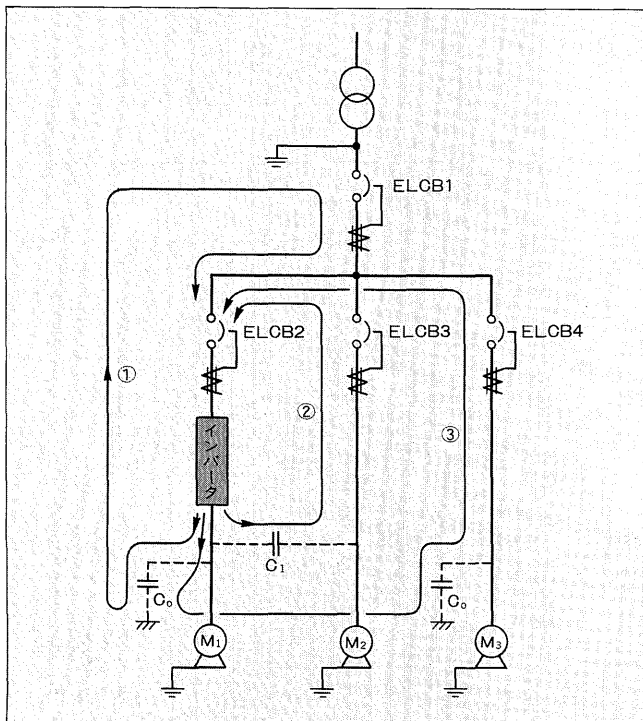


図4 ELCBとインバータが接続されたシステムモデル



ELCB 3が影響を受ける。両ケーブルが近接して長距離にわたって配線され、ケーブル間の静電容量 C_1 が大きい場合には、このような電流経路に留意する必要がある。

図5 ELCBの内部回路ブロック図

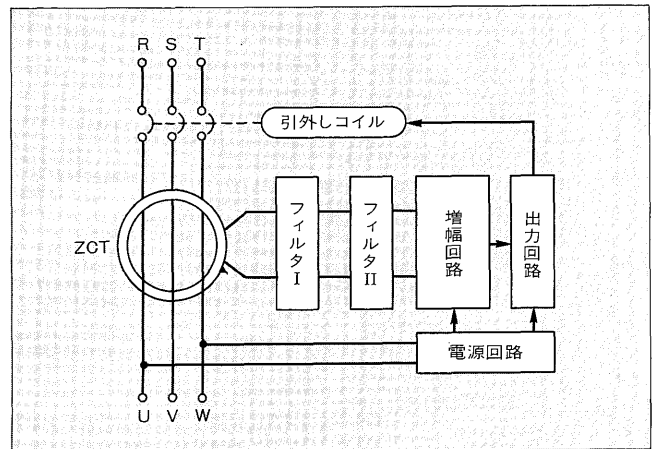


図4の③で示した電流経路は、同じように、インバータを使用していない回路への影響を示しているが、両ケーブルの対地静電容量 C_0 を介して影響を及ぼしている例である。この場合は、ELCB 2と ELCB 4が影響を受ける。このように、インバータを使用していない他の回路への電流経路が存在して、ELCBが動作した場合には、その原因の究明に時間を要する場合が多い。このような場合には、ケーブルの敷設状況と系統図とを比較して、これらの電流経路をつきとめることも必要となる。

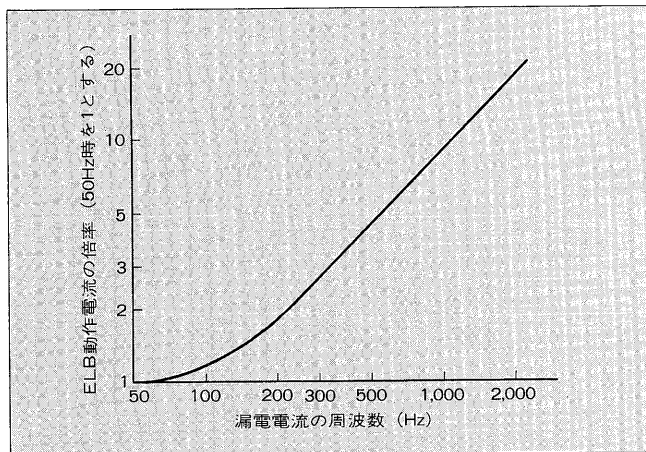
③ ELCBの特性改善と感度選定基準

3.1 ELCBの動作特性改善

図5は、すでに特性改善がなされている現行ELCBの内部回路ブロック図を示す。改善した部分は、零相変流器 (ZCT) と増幅回路間に挿入されている高周波成分吸収用フィルタを、1段から2段に増強し、より適切にした点にある。図6は、漏れ電流の周波数を高くしたときのELCBの動作電流の変化を示したものである。

ELCBの不要動作防止の観点からは、高周波領域における動作電流の値をなるべく高くすることが望ましく、改善後の動作特性は、改善前に比べて、高周波領域における動

図6 漏電電流の周波数とELB動作電流の変化



作電流の値が大きくなるように改善してある。しかし、ELBの使命である漏電保護の観点からは、高周波領域における動作電流の値をあまり高くすることは望ましくない。この相反する課題に対して、特性を決める上で考慮したのは、高周波領域での感電に対する安全性の問題である。

3.2 高周波領域における安全性

感電した場合に、人体にとって危険な電流限界値は、世界的にELCBの動作特性を決める上で採用されている心室細動限界値50mA・秒が一般に知られている。ただし、この値は、商用周波数領域における値であり、ELCBの動作特性を決める時点で、高周波領域まで考慮した、人体の安全性に関する公の基準は無かった。

表1 ELBのインバータ回路適用における感度選定表

(a) AC200V 三相誘導電動機の場合

電動機出力 (kW)	全負荷電流規約電流 (A) (注1)	インバータ容量 (kVA) (注2)	接続電線(mm ²) 最小-最大(注3)	配線こう長と適用可能感度電流						
				10m	30m	50m	100m	200m	300m	
1.5	6.5	3	2 ~ 14							
2.2	9.2	3	2 ~ 14							
3.7	14.5	5	3.5 ~ 14	30mA						
5.5	21	8	5.5 ~ 14							
7.5	29	10	8 ~ 38							
11	42	15	14 ~ 38				100mA			
15	57	20	22 ~ 60							
18.5	70	24	30 ~ 60					200mA		
22	82	30	38 ~ 60							
30	106	37	60 ~125							
37	135	47	80 ~125							500mA
45	164	57	~325							
55	200	70	~325							

(b) AC415V 三相誘導電動機の場合

電動機出力 (kW)	全負荷電流規約電流 (A) (注1)	インバータ容量 (kVA) (注2)	接続電線(mm ²) 最小-最大(注3)	配線こう長と適用可能感度電流						
				10m	30m	50m	100m	200m	300m	
5.5	10.5	10	3.5 ~ 14							
7.5	14.5	10	3.5 ~ 14	30mA						
11	21	24	5.5 ~ 14							
15	28.5	24	8 ~ 38							
18	35	24	14 ~ 38							
22	41	47	14 ~ 38							
30	53	47	22 ~ 60				200mA			
37	68	47	30 ~ 60							
45	82	70	38 ~ 60						500mA	
55	100	70	60 ~125							
75	131	95	80 ~125							1,000mA
90	157	140	~325							(特殊)
110	190	140	~325							

(注1) 富士電機標準電動機の数値

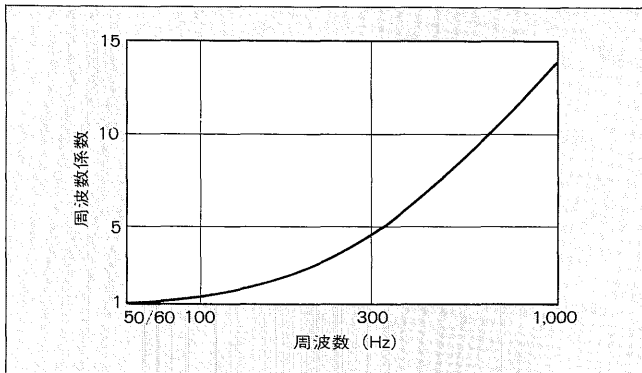
(注2) 富士電機インバータFVR-P, FRENIC5000P, FRENIC5000Gの定格

(注3) 最小の値は、内線規程3-3表(金属管配線)の最小電線サイズによる。

最大の値は、富士電機漏電遮断器の最大接続可能電線サイズによる。

(注4) 200Vの場合、電源は△結線で一線接地として算出した。また、415Vの場合は、人結線で中性点接地として算出した。

図7 心室細動限界値の50/60Hzを基準とした変化



したがって、われわれは、動作特性の決定にあたって、労働省産業安全研究所安全資料（昭和45年）に紹介されている動物実験の結果を参考にしてきたが、最近になり、IEC479-2 (Effects of current passing through the human body. Part2 : Special aspects) において、図7に示すように、周波数の人体に及ぼす影響について明示されるに至った。富士電機のELBの周波数に対する動作電流の変化率は、IECによる人体の安全限界値の変化率に対して安全側に整合を図っている。

3.3 ELCBの感度選定基準の確立

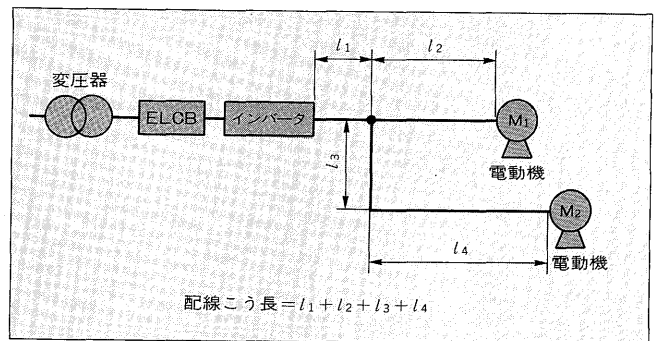
ELCBの感度選定にあたり、負荷機器の種類、設置環境および回路電圧によっては、その値が法的に定められている場合がある。それ以外の一般的な回路における感度選定は、機器の保護接地抵抗値とELCB負荷側の常時漏れ電流の算定を基に行われる。しかし、インバータ回路においては、この常時漏れ電流の算定が困難である上に、ELCBの動作特性との関係を求めることはさらに困難を極める。そこで富士電機では、表1に示すインバータ適用時の感度選定表を作り、選定時の便宜を図っている。

この選定表は、ELBとインバータを組み合わせた実器試験のデータを基に、ELBの定格感度電流別に、ケーブルの最大こう長を算出して作成したものであり、市場において良好な実績を有している。なお、本表を適用して選定する場合、次のことに留意していただきたい。

(1) 最大配線こう長

インバータから電動機までの距離の総計を表す。したがって、1台のインバータのもとで複数の電動機が稼働する場合は、図8のように分岐回路の距離の総和とすることが

図8 複数の電動機が稼働する場合の配線こう長



必要である。

(2) ケーブルの種類

IV線(600V)の対地静電容量を基準に算出しているもので、IV線より対地静電容量の小さいケーブルを使用した場合には、その減少比率に反比例して、こう長を延ばすことが可能である。

(3) ケーブルの敷設条件

金属管配線(大地密着)で算出しているため、ケーブルを大地から浮かせた場合のように、対地静電容量がより少ない敷設条件では、こう長を延ばすことが可能である。

4 あとがき

種々寄せられる問合せのなかには、回路の漏れ電流測定器の表示値が、ELCBの定格感度電流を超えているにもかかわらず動作しないとの疑問や、他メーカーのELCBとの保護協調が取り難いなどの指摘が含まれている。これらは、それぞれの機器の周波数特性が整合していないために生ずる現象であり、業界内あるいは業界間で解決してゆかなければならない課題として残されている。

一方、今後インバータはますます普及することが予想され、インバータ回路用ELCBを選定する上で、本稿が少しでも使用者各位の参考になれば幸いである。

参考文献

- (1) 労働省安全研究所資料, RIIS-SD-70-1, p.11 (1970)
- (2) IEC479-2 (Effects of current passing through the human body, Part2 : Special aspects), Chapter 4, Fig.11
- (3) 富士インバータ技術資料, MHT221b, pp.21-29 (1988)
- (4) 富士漏電遮断器技術資料, EH251d, pp.50-51 (1989)



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。