

POW 스위칭 /제어식 스위칭

Klaus Böhme 박사/ Stefan Werben, Siemens AG / Christopher Pritchard, OMICRON

개요

제어식 스위칭은 차단기를 열고 닫는 수단으로, 설비에 대한 스트레스를 줄여줍니다. 이제 SIPROTEC 5 장치에서도 이러한 스위칭을 사용할 수 있습니다. 이 스위칭을 보호/제어 장치와 함께 사용하면 배선 부담을 줄이고 새로운 가능성을 실현하는 기회가 열립니다. 본 세미나에서는 그 구현을 검토하고 장치 테스트 방법을 설명합니다.

소개/현상 요약

제어식 스위칭 또는 POW(Point on Wave) 스위칭은 스위칭 운영 중 설비 및 스위치에 가해지는 스트레스를 줄이고 시스템 간섭을 최소화합니다. 그 결과 설비 수명이 늘어나고 노화가 줄어듭니다. 시스템 오류가 적어(예: 캐패시터에서 리스트라이크) 가용성이 향상됩니다. 스위칭 동작(사용 목적에 따라 메이크 및/또는 브레이크 동작)은 미리 결정된 스위칭 각도에서 상별 선택적으로 이루어집니다. 전문 장치는 특정 제조업체를 통해 구입할 수 있습니다.

보호/제어 장치는 정밀한 클로징 각도가 주요 고려 사항이 아닌(고속 단상 또는 3상 개방) 여러 형태의 응용 분야에 맞게 특별히 설계 또는 최적화되었기 때문에 통상적으로, 기존 바이너리 출력(계전기)로는 필요한 스위칭 정확도를 구현할 수 없습니다. SIPROTEC 5 플랫폼은 보호 및 제어식 스위칭 측면에서 모든 요구 사항을 충족합니다. 제어식 스위칭에는 아래에 설명한 새로운 테스트 방법이 필요합니다.

캐패시터 뱅크/용량성 부하의 통전은 제어식 스위칭의 기본 원리를 설명하기 위한 예로 사용됩니다. 다른 스위칭 각도를 사용하는 다른 설비/부하에도 동일한 원리가 적용됩니다.

여러 폐쇄 각도의 영향

RelaySimTest와 같은 시뮬레이션을 통해 서로 다른 클로징 각도의 영향을 매우 쉽게 확인할 수 있습니다. MSCDN 시스템(댐핑 네트워크가 있는 기계식 스위칭 캐패시터)에 대한 관찰 내용이 [1]에 설명되어 있습니다. 이 MSCDN 시스템은 그림 1에 나타난 돌입 전류를 생성합니다. 명확하게 알 수 있듯이 바람직하지 않은 클로징 각도(파이 = 90°)에서의 전류 진폭이 상당히 높아 시스템, 스위치 및 MSCDN 시스템에 가해지는 스트레스가 큼니다.

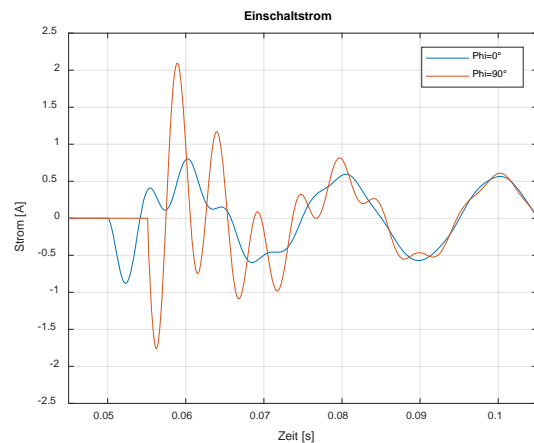


그림 1: MSCDN 시스템에서 바람직한 및 바람직하지 않은 클로징 각도에서 돌입 전류

그림 2는 클로징 각도 이상에서 3상 폐쇄 동작에 대한 3상 모두의 최대 전류를 보여줍니다. 이 경우, 클로징 동작 중 스트레스를 줄이는 각도를 찾을 수 없습니다. 높은 돌입 전류를 피하려면 차단기 극에 별도로 전원을 공급해야 합니다. 그림 3에 이 내용을 같은 방식으로 나타냈습니다. 클로징 각도 L1:0°, L2:120°, L3:60°(용량성 설비 폐쇄의 경우)의 돌입 전류를 크게 줄일 수 있습니다. 그림 3은 이러한 최적 각도에 대한 오프셋을 보여줍니다.

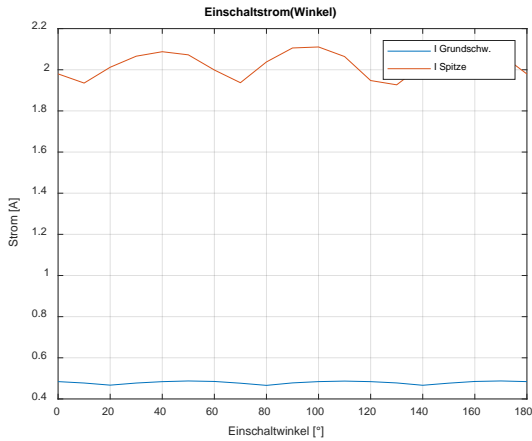


그림 2: 3상 폐쇄 시 클로징 각도에 따른 최대 전류

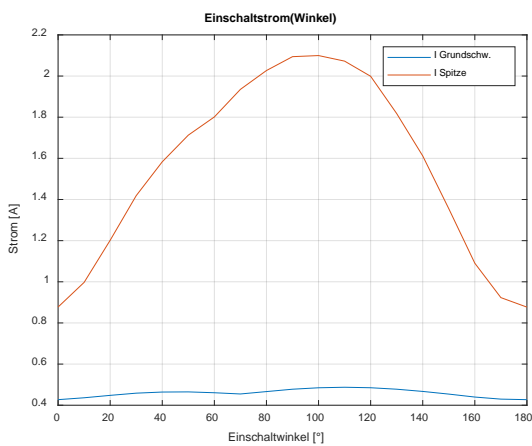


그림 3: 단상 폐쇄 시 클로징 각도에 따른 최대 전류(L1:0°/L2:120°/L3:60°)

제어식 스위칭

스위칭 각도는 스위칭되는 장치에 의해 결정됩니다. 용량성 부하 또는 캐패시터 뱅크의 경우, 각 위상의 전압 제로 크로싱이 최선의 선택입니다. 측정된 기준값의 제로 크로싱(파이 = 0°), 차단기 데이터 및 지정된 클로징 각도를 사용하여 차단기가 요구 조건을 충족하도록 장치 접점에 전원을 공급해야 하는 순간을 결정하기 위한 계산을 수행합니다. 기준 전압 U_{L1} 이 주어지면 용량성 부하를 전환하기 위해 기준 전압의 제로 크로싱에 상대적인 클로징 시퀀스 L1:0°/L2:120°/L3:60°가 필요합니다. 차단기에 전원을 공급하는 접점을 작동시켜야 하는 순간을 계산하려면 기계적 및 전기적 스위칭 시간(각각 투입시간 및 투입시간)을 알아야 합니다. 이 시기는

차단기의 아크가 전기적으로 접촉하는 사전아크시간에 따라 달라집니다. 투입시간/개로시간은 다음에 따라서도 달라집니다.

- 개폐 회로의 제어 전압
- 온도
- 차단기 압력

필요한 경우, 절연 증폭기 입력을 사용한 측정을 통해 스위칭 기간 동안 이러한 요소들을 모두 고려할 수 있습니다. 이러한 요소는 선형적 특성이거나 특정한 특성을 나타낼 수 있습니다. 이러한 변수는 스위칭 순간 계산에 사용됩니다.

그림 4는 폐쇄 동작의 기본 원리를 보여줍니다.

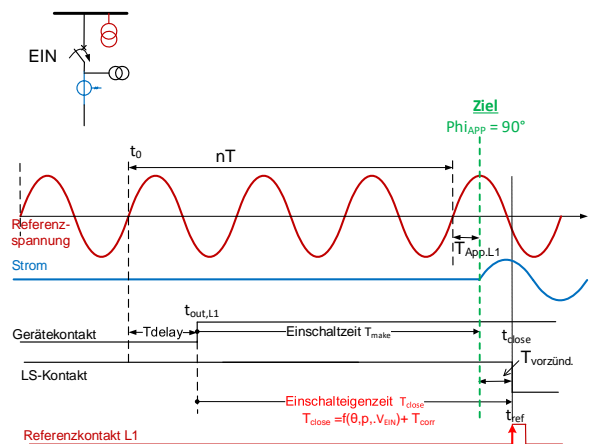


그림 4: 제어식 스위칭의 원리

우수한 스위칭 결과를 얻으려면 장치 투입시간에 낮은 수준의 딜레이가 필요합니다. 일반적인 기계식 바이너리 출력(계전기)의 투입시간 딜레이는 1 ~ 2 ms입니다. 50 Hz 시스템에서 1 ms의 시간 딜레이는 18°의 폐쇄 각도 오차를 발생시킵니다. 그 결과 피크전류가 약 30% 증가합니다(그림 3 참조). 장치 투입시간과 관련하여 1.8°에 해당하는 $100 \mu\text{s}$의 정확도가 필요합니다. 사용되는 접점은 가능한 한 투입시간 딜레이가 낮아야 합니다. 이 경우에는 기계적 접점이 적합하지 않습니다. 투입시간을 계산할 때 투입시간의 상수 계통적 성분을 고려할 수 있습니다.

SIPROTEC 5 시스템에는 매우 짧은 트립 지연뿐만 아니라 투입시간 딜레이가 매우 낮은 “반도체 계전기”가 사용됩니다. 이를 통해 <math>< 50 \mu\text{s}</math>의 낮은 장치 클로징 정확도가 얻어집니다.

테스트 방법

투입시간 기준점은 정의된 전압(예: U_{L1})의 제로 크로싱입니다. 모든 투입시간은 이 제로 크로싱 포인트를 기준으로 합니다. 스위칭 시간은 요구되는 폐쇄 목표를 달성하기 위해 장치의 계전기를 활성화시켜야 하는 시간을 계산하는 데 사용됩니다. 테스트에 사용된 소스는 CMC 256/356 장치와 같이 높은 수준의 시간 안정성을 보여야 합니다. 스위칭 시퀀스는 상태 시퀀서를 사용하여 출력할 수 있고, 기준 전압과 비교한 접촉 측정에는 오실로스코프를 사용합니다. 측정 구성과 측정 원리를 그림 5에 나타냈습니다.

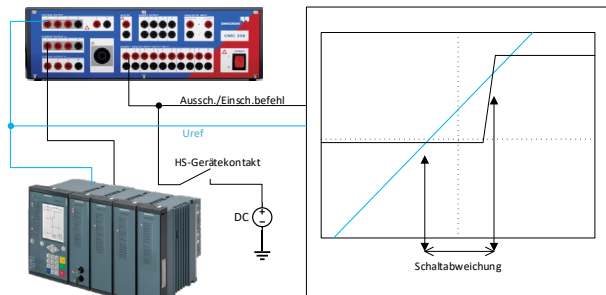


그림 5 측정 구성/측정 원리

기준 전압의 제로 크로싱과 장치 접점 운영 사이의 투입시간 편차를 측정합니다. 그 결과 장치 접점의 투입시간 편차가 <math>< 30 \mu\text{s}</math> (<math>< 0.18^\circ</math>)인 것으로 나타납니다. 이 경우에 더 중요한 점은 결과의 시간 딜레이가 낮다는 것입니다. 설정에서 계통 부정확도를 보상할 수 있습니다. 그림 6의 표본 측정 결과, 기준 전압의 제로 크로싱과 $3.0 \mu\text{s}$ (0.054°)의 접점 운영 사이에 투입시간 편차가 발생했습니다.

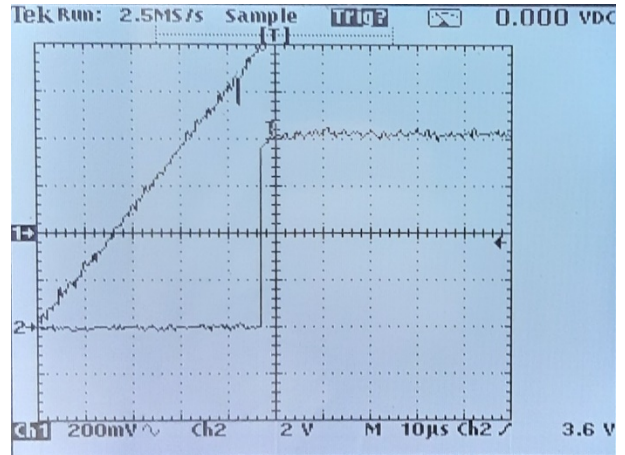


그림 6 투입시간 편차 측정

이와 유사하면 더 간단한 측정 방법은 절연 증폭기 입력을 사용하는 것입니다. 이 방법은 일반적으로 메이크/브레이크 회로의 제어 전압을 보상하거나 기준 접점(Siemens 차단기의 경우, 기준 접점이 차단기 접점의 기계적 메이크에 신호를 보냄) 등을 기록하는 데 사용됩니다. 접점을 통해 외부 직접 전압($\leq 10 \text{ V}$)이 절연 증폭기에 인가됩니다. 생성된 고장 기록($f_{\text{sample}}=8 \text{ kHz}$)의 평가를 통해 실험실에서 예비 테스트 목적으로 간단한 메이크/브레이크 평가를 수행할 수 있습니다(시간 해상도: $125 \mu\text{s}$).

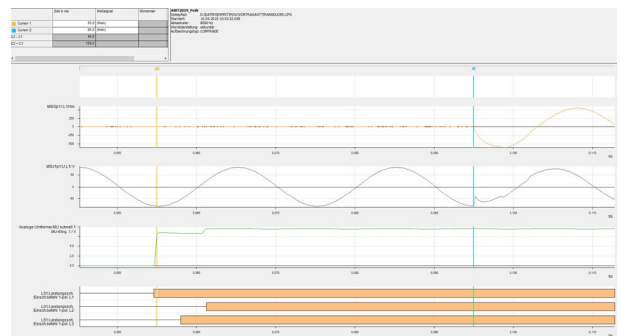


그림 7

상태 시퀀서를 사용하면 적합한 CMC 테스트 세트를 사용하여 직접 측정을 용이하게 수행할 수 있습니다. 바이너리 입력은 10 kHz 의 샘플링 속도(즉, $100\mu\text{s}$ 마다 하나의 샘플)로 판독되기 때문에 CMC356의 바이너리 입력을 통한 직접 측정으로는 오실로스코프를 사용한 측정과 동일한 수준의 정확도를 얻을 수 없습니다. 이는 1.8° 의 각도 오차에 해당하므로 기능 및/또는 설정의 예비적 시험

목적으로 수용 가능합니다. CMC156과 같은 이전 CMC 장치는 이와 같은 샘플링 속도를 지원하지 않습니다.

설비에서 스위칭 효과를 확인하려면 폐쇄 루프 시뮬레이션이 필요합니다. 장치의 반응(또는 동작)은 시뮬레이션에 직접적인 영향을 미칩니다. 이는 RTDS(Real Time Digital Simulator)와 같은 고가의 실시간 시뮬레이터를 사용해서만 가능하고 과정이 복잡합니다.

보다 쉬운 방법은 RelaySimTest의 반복 폐쇄 루프 시뮬레이션 기능을 사용하는 것입니다. 이 경우에는 스위칭 응답을 고려하기 위해 시뮬레이션이 여러 번 수행됩니다. 이 시뮬레이션은 다음과 같이 실행됩니다.

1. 명령을 무시하고 시뮬레이션 변수를 출력합니다. 2차 실행 중에 명령이 측정됩니다.
2. 이번에는 이전에 측정된 명령을 포함하여 시뮬레이션 변수를 출력합니다.
3. 1차 명령 세트와 2차 명령 세트 사이에 차이가 거의 없으면 시뮬레이션이 정확한 것이므로 종료하면 됩니다. 그렇지 않으면 추가 시뮬레이션 실행이 필요합니다.

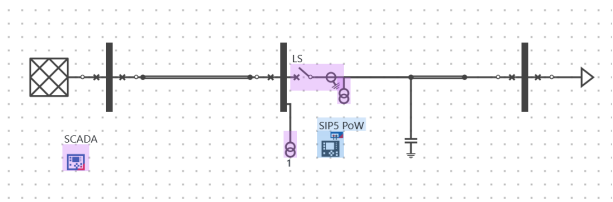


그림 8: 시뮬레이션 시스템(용량성 부하)

용량성 부하(또는 캐패시터 뱅크)의 경우, 그림 8에 나타난 시스템에서 바람직한 스위칭 동작(그림 9)과 바람직하지 않은 클로징 각도에서의 스위칭 동작(그림 10)에 대한 반복적인 폐쇄 루프 시뮬레이션을 수행했습니다. 보다 높은 고조파 왜곡이 분명하게 나타납니다.

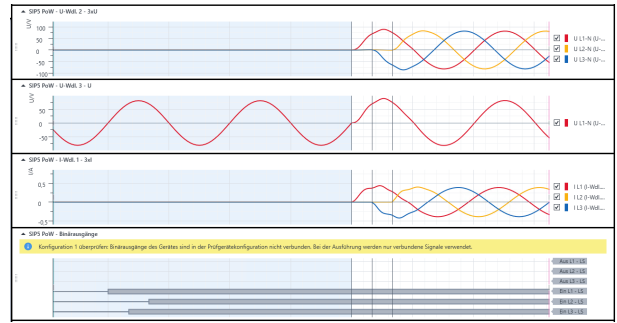


그림 9: 바람직한 스위칭 동작

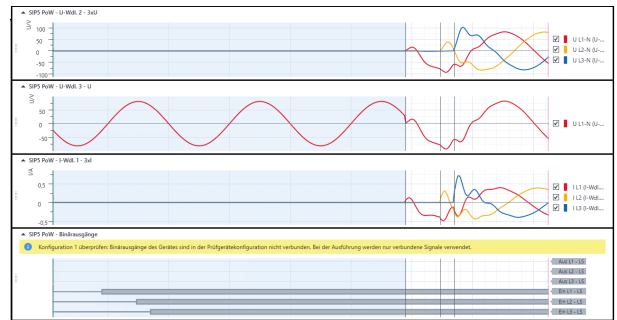


그림 10: 바람직하지 않은 스위칭 동작

제어 기능에 통합

현재, 차단기 제어는 결합된 보호/제어 장치를 사용하여 수행됩니다. 또한 차단기를 위상과 동기화시켜 제어/스위칭해야 하는 경우에는 별도의 장치가 필요합니다. 이를 제어 시스템에 통합하려면 보호/제어 장치와의 공조를 위해 추가 외부 배선이 필요합니다. 보호/제어 장치의 제어 기능에 “POW 스위칭” 기능을 완벽하게 통합한다는 것은 하나의 장치가 줄어들고 엔지니어링 및 설치 부담이 줄어든다는 것을 의미합니다. 제어 장치가 공정 제어 시스템에 통합되므로 제어식 스위칭에 필요한 추가적인 처리 작업이 훨씬 줄어듭니다. 장치에서 “POW 스위칭”을 사용할 수 있고 활성화된 경우, 모든 스위칭 운영이 제어됩니다.

“POW 스위칭” 기능은 차단기 기능 그룹에 포함되어 있습니다. 이 기능에는 이를 활성화 및 비활성화하기 위한 기능 블록이 있으므로 해당하는 특정 응용 목적에 맞게 사용자 정의할 수 있습니다.

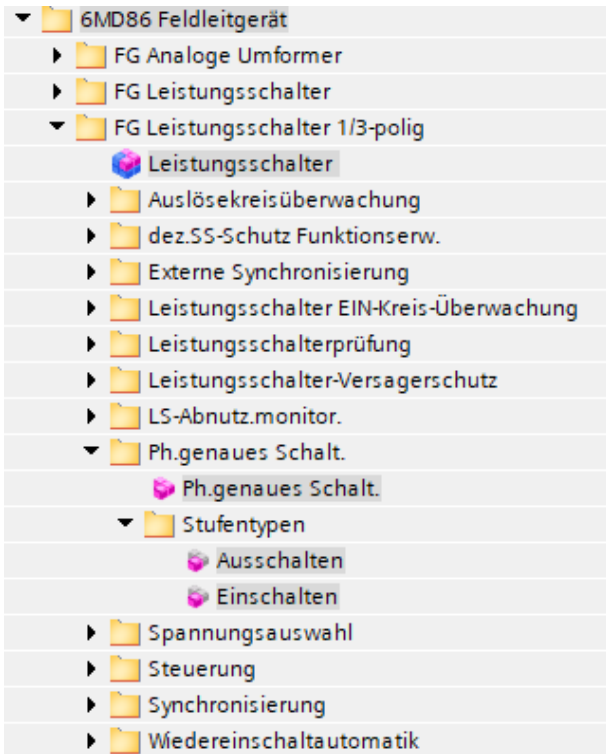


그림 11a DIGSI 5 라이브러리의 POW 스위칭



그림 11b 차단기 기능 그룹에 있는 POW 스위칭 매개변수

요약

제어식 스위칭을 통해 설비 스트레스를 줄이는 방식으로 모든 설비를 개폐시킬 수 있습니다. 제어식 스위칭을 제어 기능에 통합하면 자동화되고 효율적인 POW 스위칭을 구현할 수 있습니다. 결과를 확인하기 위해 다양한 테스트 방법을 사용할

수 있습니다. RelaySimTest를 사용한 반복적 폐쇄 루프 시뮬레이션을 통해 시스템 변수에 미치는 폐쇄 동작의 영향을 직접 테스트할 수 있습니다.

참고문헌

- [1] Poster: Untersuchung des dynamischen Verhaltens von Kondensatorbänken und deren Auswirkungen auf den Schutz, Schutz- und Leittechnik 2018, [Investigation into the Dynamic Response of Capacitor Banks and their Effects on Protection, Protection Technology and Process Control] Dr. Klaus Böhme, Stefan Werben, Siemens AG, Andrea Ludwig, Ulf Hoffmann, 50Hertz Transmission
- [2] Handbuch, Anwenderprogramm PSD-Control 2.x Für die Geräte PSD01, PSD02 und PSD03 [Manual, PSD-Control 2.x User Program for PSD01, PSD02 and PSD03 Devices], Siemens AG 2012

저자 정보



Klaus Böhme 박사는 1963년 베를린에서 태어났습니다. 1989년까지 베를린 공과 대학에서 전기 공학을 전공했고. 1994년 동 대학에서 박사 학위를 취득했습니다. Klaus는

1992년부터 Siemens AG에서 디지털 보호 장치 개발 업무를 맡아 일했습니다. 개발자이자 프로젝트 관리자로서 그는 7UM5 V2.x에서 시작해 SIPROTEC 4 및 SIPROTEC 5에 이르기까지 다양한 장치 개발을 책임지고 추진했습니다. 발전기 보호, 동기화 기능 및 피더 보호 장치가 그의 중점 부문입니다. 현재 그는 SIPROTEC 5 플랫폼의 새로운 응용 분야를 개척하기 위한 수석 전문가 직책을 맡고 있습니다.



Stefan Werben은 1964년 6월 1일 네덜란드, 네이메헌에서 태어났습니다. 그는 1983년 독일 아인벡에 있는 괴테 김나지움에서 졸업시험에 통과했습니다. Stefan은

브라운슈바이크 기술 대학(독일 브룬스빅)에서 전기 공학을 전공했으며 1990년에 학위를 취득했습니다. 1991년 카번데일에 있는 서던 일리노이 대학에서 경영학을 전공하기 위해 1년간 미국에서 유학했습니다. 1992년 베를린의 Siemens AG에 디지털 보호 장치용 소프트웨어 개발자로 입사했습니다. 소프트웨어 개발 및 개발 프로젝트 관리 직책을 거쳐 1998년 뉘른베르크에서 프로젝트 관리 역할을 맡았으며 2001년부터 보호 장치 제품 관리자로 근무하고 있습니다.

OMICRON은 혁신적인 테스트 및 진단 솔루션으로 전력 산업에 서비스를 제공하는 국제 기업입니다. OMICRON 제품의 적용으로 사용자는 시스템에 있는 고전압/저전압 설비의 상태를 완벽하게 평가할 수 있습니다. 컨설팅, 커미셔닝, 테스트, 진단 및 교육분야에서 제공되는 서비스는 제품을 보다 완벽하게 만듭니다.

160여 개국의 고객들은 이미 OMICRON의 우수한 품질과 첨단 기술 제품을 선택하였습니다. 모든 대륙에 있는 서비스 센터는 폭넓은 지식 기반과 함께 고객 지원을 제공합니다. 이 모든 것들이 OMICRON을 전력 산업에서 시장 선두주자로 만들었습니다.

자세한 정보, 추가 자료 및 전 세계 사무실의 연락처 정보는 당사 웹사이트를 방문하십시오.